



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Estudio geotécnico para tajo, Proyecto Coroccohuayco - Cusco - Perú

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo

AUTOR

Jorge Valentino RODRÍGUEZ MALAVER

ASESOR

Dr. Tomás Ezequiel GALLARDAY BOCANEGRA

Lima, Perú

2019



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Rodríguez, J. (2019). *Estudio geotécnico para tajo, Proyecto Coroccohuayco-Cusco-Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO

En el Salón de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, el día viernes 22 de marzo del año 2019, siendo las 18:00 horas, en presencia de los señores docentes designados como miembros del Jurado Calificador:

Mag. CIRO SERGIO BEDIA GUILLEN	(Presidente de Jurado)
Ing. VICTOR MANUEL URIBE CORDOVA	(Miembro de Jurado)
Ing. MANUEL ZEA AYALA	(Miembro de Jurado)

Reunidos para el acto académico público de colación de la Tesis del Bach. **JORGE VALENTINO RODRIGUEZ MALAVER**, quien sustentará la Tesis titulada: «**ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA TAJO, PROYECTO COROCCOHUAYCO-CUSCO- PERÚ**», para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Geólogo.

Los miembros del Jurado, escuchada la sustentación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas:

A SATISFACCIÓN DEL JURADO

El Jurado procedió a la calificación, cuyo resultado fue:

APROBADO POR UNANIMIDAD CON NOTA DE (17) Diecisiete.

Habiendo sido aprobada la Sustentación de Tesis por el Jurado Calificador, el Presidente recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, proponga se le otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO** al Bach. **JORGE VALENTINO RODRIGUEZ MALAVER**. Siendo las 18:00 horas se dio por concluido el acto académico, expidiéndose dos (02) Actas Originales de la Sustentación de la Tesis.

Ciudad Universitaria, 22 de marzo del 2019

MAG. CIRO SERGIO BEDIA GUILLEN
PRESIDENTE DE JURADO

ING. VICTOR MANUEL URIBE CORDOVA
MIEMBRO DE JURADO

ING. MANUEL ZEA AYALA
MIEMBRO DE JURADO

DR. TOMAS EZEQUIEL GALLARDO BOCANEGRA
ASESOR

INDICE

INTRODUCCION	1
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	2
1.4. OBJETIVO	2
1.4.1. General	2
1.4.2. Específicos	2
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. UBICACION DEL YACIMIENTO Y ACCESIBILIDAD	3
2.2. UBICACIÓN Y ACCESO AL PROYECTO COROCCOHUAYCO	4
2.3. GEOLOGÍA	6
2.3.1. Geología regional	6
2.3.2. Tectónica	7
2.3.3. Geología local	8
2.3.4 Geología estructural	18
2.3.5 Geología del Yacimiento Coroccohuayco	19
2.3.4. Clasificación del Macizo Rcoso	22
2.3.5. Formato de Registro de Sondaje.	22
2.3.6. Fotografías de los Testigos de Perforación	23
2.3.7. Parámetros de Resistencia de la Roca Intacta	27
2.3.8. Índice de Meteorización y de Alteración	28
2.3.9. Discontinuidades	32
2.3.11. Condición de las Fracturas	33
2.3.12. Sistema RMR de Bieniawski (CSIR) - 1989	34
2.3.13. Según Sistema Q de Barton, Lien y Lunde (NGI)	35
2.3.14. Alteración de las Fracturas (Ja)	37
2.3.15. Conjuntos o Números de las Fracturas (Jn)	39
2.3.16. Falla y/o Testigos Triturados (Broken Core)	39
2.3.17. Testigo de perforación orientado	41
2.3.18. Clasificaciones Geomecánicas	45

2.3.19.	Clasificación RMR	45
2.5	GLOSARIO DE TERMINOS	48
2.6	Hipótesis y variables	56
2.6.2	Hipótesis específicas	56
2.6.3	Identificación de variables	56
III.	METODOLOGÍA.....	57
3.1.	Geometría del Tajo Planeado	58
3.2.	Base topográfica para el Estudio y borde final de los tajos	59
3.3.	Investigaciones geológicas – geotécnicas	59
3.3.1.	Mapeo Geológico	59
3.4.	Unidades de Macizo Rocoso	60
3.5.	Cobertura de Suelo	60
3.6.	Perforaciones Diamantinas	60
3.6.1.	Perforaciones Geotécnicas del año 2011	61
3.6.2.	Perforaciones Geotécnicas del año 2014.....	61
3.6.3.	Perforaciones de Exploración de Recursos Minerales	62
3.7.	Ensayos de Laboratorio	63
3.8.	Modelo Geológico	64
3.9.	Modelo Estructural.....	67
3.10.	ENSAYOS DE LABORATORIO	71
3.11.	Relación Is_{50} vs UCS	73
3.12.	ENVOLVENTES DE RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA	79
IV.	DESARROLLO	80
4.1.	CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO	80
4.2.	CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS UNIDADES LITOLÓGICAS	86
4.2.1.	Pórfido Monzonítico Biotítico	88
4.2.2.	Pórfido Monzonítico Hornbléndico.....	90
4.2.3.	ExoSkarn	92
4.2.4.	Mármol.....	94
4.2.5.	EndoSkarn en Diorita	96
4.3.	RESUMEN DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DEL MACIZO ROCOSO	99
4.4.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y CINEMÁTICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TAJO COROCCOHUAYCO – ESTUDIO GEOTÉCNICO DE FACTIBILIDAD DEL TAJO DE COROCCOHUAYCO	100

4.4.1.	Contexto estructural (basado en el informe de modelo estructural 2016)	100
4.4.2.	Procesamiento de la data estructural	101
4.4.3.	Proyecciones estereográficas de concentración de polos por perforación	104
4.4.4.	Fábrica estructural	104
4.4.5.	Estructura Mayores o Fallas.....	104
4.4.6.	Sistemas de Diaclasas o Discontinuidades	104
4.5.	CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES	106
4.5.1.	Sistema JN1:.....	106
4.5.2.	Sistema JN2	107
4.5.3.	Sistema JN3	108
4.5.4.	Sistema JN4	109
4.5.5.	Sistema JN5	110
4.6.	ANÁLISIS CINEMÁTICO	111
4.6.1.	Mecanismos de Falla Estructuralmente Controlados	111
4.6.2.	Resultados del Análisis Cinemático	112
	Conclusiones.....	116
	Recomendaciones	117
	Bibliografía.....	118

Índice de Tablas

Tabla 1:Accesos a proyecto.....	4
Tabla 2 : Índice de dureza	27
Tabla 3 : Índice de Meteorización	29
Tabla 4 : Índice de Alteración.....	30
Tabla 5 : Tipo de Discontinuidad.....	32
Tabla 6 : Condición de las Fracturas por Corrida Jcon: Valuación General (Bieniawski 1976)	33
Tabla 7: Condición de las Fracturas por Corrida Jcon: Valuación General (Bieniawski 1989)	34
Tabla 8 : Guía de Condición de Fracturas - Valuación al Detalle.....	35
Tabla 9 : Rugosidad de las Fracturas (Jr).	36
Tabla 10 : Alteración de juntas.....	38
Tabla 11 :Conjuntos de Fracturas (Jn).....	39
Tabla 12 : CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI PARA JUNTAS DEL MACISO ROCOSO (1989).	47
Tabla 13: configuración del Tajo Norte y Tajo sur.	58
Tabla 14 : Características de perforaciones campaña 2011.....	61
Tabla 15 : Características de perforaciones campaña 2014.....	61
Tabla 16 : Categorías de estructuras. Registros con televiewer acústico (Andes Geofísicos, 2012-2014).	63
Tabla 17 : Resumen de cantidades de ensayos de laboratorio.....	63
Tabla 18 : Unidades litológicas y nomenclaturas del modelo geológico del yacimiento Coroccohuayco.....	64
Tabla 19 : Índice de Resistencia estimada en campo por cada Unidad Litológica.....	68
Tabla 20 : Resumen de valores Is_{50} por Unidad Litológica	71
Tabla 21 : Resultados de Resistencia a la Compresión Uniaxial (proporcionado por Antapaccay) ..	72
Tabla 22 : Resultados de Resistencia de Compresión Uniaxial (información de Tintaya) .	73
Tabla 23 : Valores de Factor de correlación, K.	75
Tabla 24 Resultados de Ensayos de Resistencia a la Tracción Indirecta	75
Tabla 25: Resultados de Propiedades Elásticas por Unidad Litológica	76
Tabla 26 : Resultados de Ensayos de Compresión Triaxial.....	77
Tabla 27 : Resultados de Resistencia al Corte Directo en Discontinuidades valores promedio y desviación estándar. (Antapaccay, 2014).....	79
Tabla 28 : Resumen de Parámetros de Resistencia de la Roca Intacta por Unidad para el Tajo Norte	79
Tabla 29 : Índice de Calidad de Roca (RQD)	83
Tabla 30 : Grado de Fracturamiento	85
Tabla 31: Resumen de valores de RMR_{1976} de las unidades del macizo rocoso del Tajo Coroccohuayco.....	99
Tabla 32 : Criterios de Correlación de Atributos	102
Tabla 33 : Resumen de Sistemas de Discontinuidades del Tajo Coroccohuayco.....	106
Tabla 34 : Resumen de Potenciales Fallas Estructuralmente Controladas - Tajo Norte	113
Tabla 35: Resumen de Potenciales Fallas Estructuralmente Controladas - Tajo Sur	114

Índice de Imágenes

Imagen 1 : Ubicación del yacimiento y accesibilidad	3
Imagen 2 : U.M Antapaccay, tajo Tintaya y del futuro tajo Coroccohuayco.....	5
Imagen 3 :Cerro Fito.....	15
Imagen 4 :Vista de la Quebrada Huaccollo hacia Aguas Abajo.....	15
Imagen 5 :Vista panorámica del cerro Ccatum Ccoime	16
Imagen 6 :Vista del Cerro Chuncholañai.	16
Imagen 7: Mapa geológico del área del proyecto y unidades litoestratigráfica.	17
Imagen 8 : Plataforma de perforación diamantina-Proyecto Coroccohuayco.	21
Imagen 9 : caja de testigo de roca – muestra de skarn de magnetita	24
Imagen 10 : RQD.....	25
Imagen 11 : Grados de Meteorización / Alteración	31
Imagen 12 : Forma y Rugosidad de las fracturas.	36
Imagen 13 : Rugosidad de las fracturas, casos prácticos	37
Imagen 14 : Tramos de Falla con intervalos de Broken Core en roca Diorita.	40
Imagen 15: Dispositivo ACT2 Réflex. Orientando muestra en el tubo interior.....	41
Imagen 16 : Nivelando guía para marcar línea de orientación al testigo.	42
Imagen 17 : Marcado de línea de orientación en testigo.	42
Imagen 18: Medición del ángulo de Inclinación α (“Dip”) mediante protactor.....	43
Imagen 19 : Medición del ángulo de Dirección de la Inclinación β (“Dip Direction”)	44
Imagen 20 : Ángulos DIP y DIP DIRECTION de los testigos de sondajes.	44
Imagen 21 : Testigos de perforación.....	65
Imagen 22 : Contacto entre morrena y diorita a los 14.80 m y variación del grado de meteorización de la diorita con la profundidad.....	66
Imagen 23 : Fallas identificadas en el área del Proyecto Coroccohuayco, diferenciando los tres sistemas: Sistema NO-SE (rojo), Sistema NE-SO (verde) y Sistema E-O (azul). (Fuente: Modelo Estructural - 2016).....	100

Índice de Gráficos

Gráfico 1 Mapa geológico del área del proyecto a partir del modelo geológico de Antapaccay.	59
Gráfico 2 : Estereograma de polos y concentración de polos de la perforación SOND-5 (Andes Geofísicos, 2014).	62
Gráfico 3 : A la izquierda, vista NE del tajo Norte, donde se aprecian las fallas NE1, NE2 y NE3. A la derecha, vista NW del tajo Norte, en las que se aprecian las fallas L3 y L4.	67
Gráfico 4 : A la izquierda, vista NE del tajo Sur, donde se aprecian las fallas NE2, NE3 y NE3.5, y a la derecha, vista NW del tajo Sur, en las que se aprecian las fallas L1 y L2.	67
Gráfico 5: Histograma de los índices de resistencia por cada Unidad Litológica.	69
Gráfico 6: Dispersión de valores de Is_{50} vs profundidad por cada unidad litológica.	70
Gráfico 7 : Valores UCS promedio por tipo litológico (Antapaccay)	72
Gráfico 8 : Correlación de valores Is_{50} vs UCS	74
Gráfico 9: Envoltentes de ensayos de corte directo en discontinuidades naturales por unidad (Antapaccay, 2014).	78
Gráfico 10: Envoltentes de ensayos de corte directo en discontinuidades simuladas por unidad (Antapaccay).	78
Gráfico 11: Geología expuesta en los taludes finales del Tajo Norte y Tajo Sur del Proyecto Corocohuayco.	80
Gráfico 12 : Distribución de las frecuencias de RQD por cada unidad litológica (Antapaccay)	83
Gráfico 13 : Distribución de las frecuencia de fracturas por cada unidad litológica (considerando solamente la información de Antapaccay).	84
Gráfico 14 : Distribución de frecuencia de Espaciamiento de Discontinuidades. (Fuente: Antapaccay).	85
Gráfico 15 : Histogramas de RQD.	86
Gráfico 16 : Histogramas Fracturas/m.	86
Gráfico 17 : Grado de Meteorización para la Unidad Diorita.	87
Gráfico 18 : Índice de Resistencia.	87
Gráfico 19 : Valor de RMR vs Profundidad para la Unidad Diorita.	88
Gráfico 20 : Histogramas de RQD.	88
Gráfico 21 : Histograma Fracturas/m.	89
Gráfico 22 : Índice de Resistencia.	89
Gráfico 23 : Grado de meteorización para la Unidad Pórfido Monzonítico Biotítico.	89
Gráfico 24 : Valor RMR vs Profundidad para la Unidad Pórfido Monzonita Biotítico.	90
Gráfico 25 : Histogramas de RQD.	90
Gráfico 26 : Fracturas/m.	91
Gráfico 27 : Índice de Resistencia.	91
Gráfico 28 : Grado de meteorización para la Unidad Pórfido Monzonítico Hornbléndico.	91
Gráfico 29 : Valores de RMR vs profundidad para la unidad Pórfido Monzonita Hornbléndico.	92
Gráfico 30 : Histogramas de RQD.	92
Gráfico 31: Fracturas/m.	93
Gráfico 32 : Índice de Resistencia.	93
Gráfico 33 : Grado de Meteorización para la Unidad ExoSkarn.	93
Gráfico 34 : Valores de RMR vs profundidad para la unidad ExoSkarn.	94

Gráfico 35 : Histogramas de RQD.....	95
Gráfico 36 : Fracturas/m.	95
Gráfico 37: Índice de Resistencia.	95
Gráfico 38 : Grado de Meteorización para la Unidad Mármol.....	96
Gráfico 39 : Valores de RMR vs profundidad para a unidad Mármol.	96
Gráfico 40 : Histogramas de RQD.....	97
Gráfico 41 : Fracturas/m.	97
Gráfico 42 : Índice de Resistencia.	97
Gráfico 43 : Grado de Meteorización para la Unidad EndoSkarn en Diorita	98
Gráfico 44 : Valores de RMR vs profundidad para la unidad EndoSkarn en Diorita.	98
Gráfico 45 : Fotos de cajas de testigos de las perforaciones SOND-2 (izquierda) y SOND-7 (derecha), mostrando profundidades entre 80 y 100 m.....	102
Gráfico 46 : Proyecciones estereográficas de la perforación SOND-2 (Izquierda: Televiewer, y Derecha: Testigos Orientados). Se observa menor resolución en la correspondencia de concentraciones de polos, lo que limita la correlación de datos.....	103
Gráfico 47 : Proyección Estereográfica mostrando los sistemas de discontinuidades identificados en el Tajo Norte.....	105
Gráfico 48 : Proyección Estereográfica mostrando los sistemas de discontinuidades identificados en el Tajo Sur.....	105
Gráfico 49 : Histogramas de variabilidad del buzamiento.	107
Gráfico 50 : Dirección de buzamiento del sistema JN1.....	107
Gráfico 51 : Histogramas de variabilidad del buzamiento.	108
Gráfico 52 : Dirección de buzamiento del sistema JN2.....	108
Gráfico 53 : Histogramas de variabilidad del buzamiento.	109
Gráfico 54 : Dirección de buzamiento del sistema JN3.....	109
Gráfico 55 : Histogramas de variabilidad del buzamiento	110
Gráfico 56 : Dirección de buzamiento del sistema JN4.....	110
Gráfico 57 : Histogramas de variabilidad del buzamiento	111
Gráfico 58 : Dirección de buzamiento del sistema JN5.....	111

ANEXOS:

A. REGISTROS GEOMECHANICOS

B. ANALISIS CINEMATICO

C. PLANOS

DEDICATORIA

A mis padres María Malaver y Ricardo Rodríguez por su esfuerzo y sacrificio, por haberme apoyado en todo momento, por la motivación que me ha permitido ser una persona de bien.

A mis hermanos que siempre estarán conmigo.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento al Dr. Tomás Gallarday Bocanegra asesor de tesis, por la revisión y asesoramiento para completar la elaboración del presente trabajo.

Un agradecimiento especial a mí distinguido Jurado: Mag. Ciro Bedia Guillen, Ing. Víctor Uribe Cordova y el Ing. Manuel Zea Ayala.

Finalmente agradezco a mi familia, mi novia y amigos por estar presente en todo momento, aconsejándome y buscando lo mejor para mi persona.

INTRODUCCION

La importancia de estudios geotécnicos se manifiesta en la investigación del terreno en obras de ingeniería de construcción y minería mediante métodos, técnicas, ensayos, así como el análisis y la modelización, tanto de los materiales como de los procesos geológicos que forman parte esencial del estudio geotécnico.

En todo estudio geotécnico los factores geológicos de acuerdo al grado de complejidad afecta la seguridad y viabilidad del proyecto condicionando técnica y económicamente las obras de ingeniería, estos factores causan la mayoría de problemas geotécnicos como por ejemplo, inestabilidad, filtraciones, rotura en taludes , subsidencia etc. relacionados a estructuras geológicas como fallas , fracturas ,pliegues, foliación etc. presentándose condiciones geotécnicas favorables y desfavorables, por tanto resulta evidente que en todo estudio geotécnico es necesario partir del conocimiento geológico, interpretando la geología desde la ingeniería geológica, para determinar y predecir el comportamiento del terreno.

En geotecnia las clasificaciones más usadas son las denominadas clasificaciones geomecánicas de las cuales la RMR de Bieniawski y la Q de Barton son las más utilizadas. Establecen diferentes grados de calidad del macizo en función de las propiedades de la matriz rocosa y de las discontinuidades, y proporcionan valores estimativos de sus propiedades resistentes globales.

La presente tesis documenta la aplicación del estudio geotécnico para el desarrollo del tajo en el proyecto minero Coroccohuayco perteneciente a la Compañía Minera Antapaccay S.A., enfocando su estudio en la mecánica de suelos y rocas en el macizo rocoso, mediante perforaciones, ensayos de laboratorio, para determinar parámetros de resistencia para cada unidad litológica e identificación de estructuras, información útil para la clasificación Geomecánica de un macizo rocoso.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles son las investigaciones geotécnicas que deben realizarse para el minado mediante una explotación mixta en tajo abierto y labores subterráneas del yacimiento Coroccohuayco?

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El Proyecto se justifica por explotar y disponer los desmontes en las inmediaciones del área de explotación, y utilizando las áreas existentes de la U.M. Antapaccay - Expansión Tintaya, para el procesamiento de mineral y disposición de los relaves.

1.4. OBJETIVO

1.4.1. General

Esta tesis permite el estudio de taludes del tajo del Proyecto Coroccohuayco, en base a los estudios geotécnicos desarrollados y su evaluación geotécnica, del subsuelo recuperado o no, con el propósito de conocer sus propiedades físicas y mecánicas, su composición litológica y mejorar el conocimiento geotécnico del área de estudio.

1.4.2. Específicos

- Determinar y caracterizar de los parámetros de las discontinuidades, del macizo rocoso para las diferentes litologías presentes, para determinar su comportamiento geotécnico.
- Procesar y analizar de la información geotécnica
- Evaluar por resistencia del macizo rocoso de los taludes del tajo

II. MARCO TEÓRICO

2.1. UBICACION DEL YACIMIENTO Y ACCESIBILIDAD

El Proyecto se encuentra ubicado en el distrito y provincia de Espinar, Región Cusco, al sur del Perú, (Lat. 14°55' y Long. 71°25') aproximadamente a 34 km del centro poblado de Yauri, capital de la provincia de Espinar. El acceso al Proyecto se realiza desde las ciudades de Cusco y Arequipa, que se encuentran a 263 km (por carretera) al nor-noroeste y 259 km (por carretera) al sur-suroeste, respectivamente.

El Proyecto se localiza en la Cuenca del Río Salado (Cuenca Salado), perteneciente a la parte alta de la Cuenca del Río Apurímac, que drena hacia la Vertiente del Océano Atlántico. Las futuras instalaciones proyectadas a nivel de pre-factibilidad para el Proyecto Coroccohuayco, se emplazarán en las microcuencas de las quebradas Ccaccamayo y Huaccollo, afluentes por margen izquierda del Río Salado.

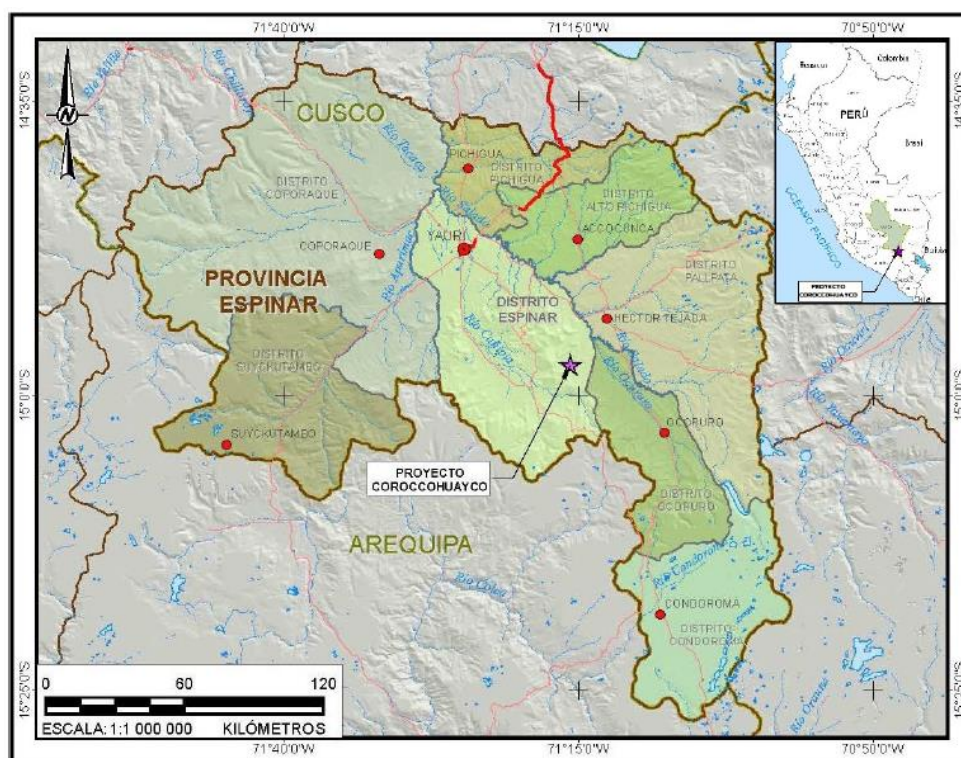


Imagen 1 : Ubicación del yacimiento y accesibilidad

2.2. UBICACIÓN Y ACCESO AL PROYECTO COROCCOHUAYCO

El Proyecto se ubica a aproximadamente 7 km de la U.M. Antapaccay - Expansión Tintaya, tomando como referencia el depósito de relaves en el antiguo tajo Tintaya, y a aproximadamente 11 km del tajo Antapaccay.

Las instalaciones actuales de la U.M. Antapaccay - Expansión Tintaya, en el sector de la mina Tintaya, se localizan en las microcuencas de los ríos Tintaya y Ccamacmayo, ambos también afluentes por margen izquierda del Río Sal

TRAMO	DISTANCIA	TIPO DE CAMINO	TIEMPO
Alternativa A			
Lima - Arequipa	1015 km	Panamericana Sur (asfaltada) Por vía aérea.	14 hrs. 01 hr.
Arequipa - Espinar	224 km	Carretera asfaltada	Bus 05 hrs
Espinar – Proyecto Coroccohuayco	35 km	Carretera sin asfaltar	Camioneta 01hr.15mint
TOTAL:	1274 km		
Alternativa B			
Lima - Cusco	1104 km	Carretera asfaltada Por vía aérea.	20 hrs. 01 hr.
Cusco - Espinar	228 km	Carretera asfaltada	Bus 04 hrs. 30mint
Espinar – Proyecto Coroccohuayco	35 km	Carretera sin asfaltar	Camioneta 01hr 15mint.
TOTAL:	1367 km		

Tabla 1: Accesos a proyecto.

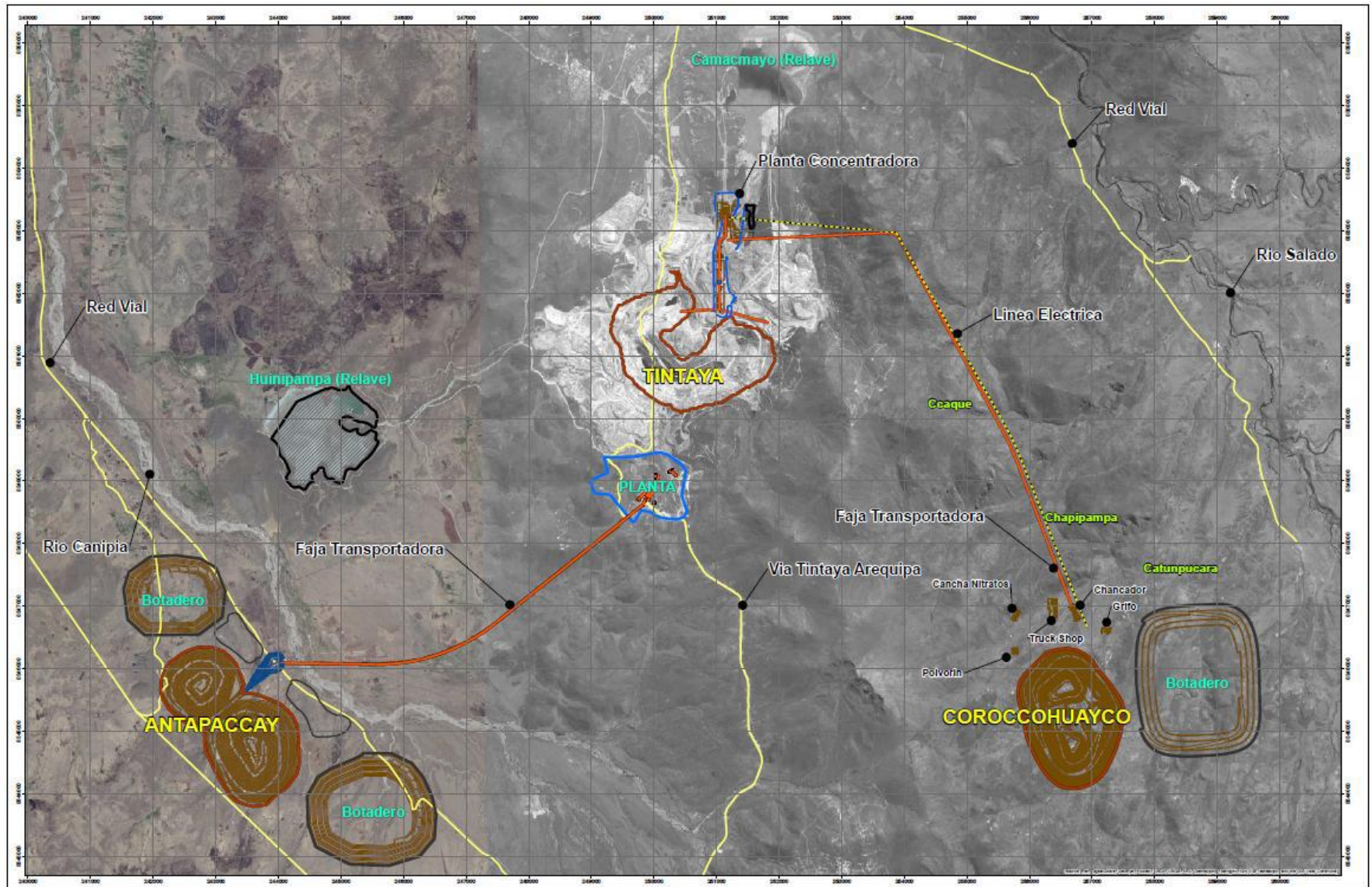


Imagen 2 : U.M Antapaccay, tajío Tintaya y del futuro tajío Coroccohuayco.

2.3. GEOLOGÍA

2.3.1. Geología regional

El área de estudio se encuentra en el flanco oriental de la cadena occidental de la Cordillera de los Andes, que en la zona tiene una dirección este-oeste. Se ubica en la parte Sur del cuadrángulo de Yauri (Hoja 30-t de la Carta Geológica Nacional). La región está localizada al este de uno de los bordes de placa más activos que forma parte del Cinturón Circumpacífico.

La litoestratigrafía en la región está formada en la base por secuencias de areniscas cuarzosas de la Formación Hualhuani/Soraya, perteneciente al Grupo Yura, de edad Jurásico superior - Cretáceo Inferior.

Sobre la cual sobreyacen las facies pelíticas de la formación Murco/Mara y las facies calcáreas de la Formación Arcurquina/Ferrobamba del Cretáceo Superior; las secuencias volcanoclásticas del Paleoceno – Mioceno, con la Formación Ichocollo; las secuencias volcanoclásticas de las formaciones Huaycha y Casanuma; y la secuencia lacustrina de origen volcánico de la Formación Yauri del Mioceno – Plioceno, que conforma la parte superior de la columna estratigráfica.

La actividad ígnea intrusiva está representada por el Batolito Andahuaylas-Yauri, de edad Eoceno-Oligoceno, el cual se manifiesta a manera de stocks. La composición predominante de estos pulsos es granodiorítica/diorítica – tonalítica, con algunos cuerpos de pórfido monzonítico. Estos cuerpos en contacto con rocas sedimentarias carbonatadas, configuran y forman yacimientos de cobre de gran valor económico. El AEA se ubica en una zona de concentración de yacimientos de tipo pórfido de cobre y skarn conocida como la franja mineralizada del Batolito Andahuaylas-Yauri. A nivel regional, la franja mineralizada ha generado otras zonas con concentración de yacimientos de cobre de tipo pórfido y skarn, como: Las Bambas, Katanga, Haqira, Los Chancas, Constancia, entre otros. Todos estos yacimientos se formaron entre el Eoceno medio al Oligoceno superior (Noble et al. 1984).

2.3.2. Tectónica

Se hace un recuento de los eventos tectónicos que se han dado en el sur del Perú, y que han formado las estructuras en la región Andahuaylas-Yauri.

Fines del Mesozoico.

Los eventos tectónicos dados del Triásico al Cretáceo Tardío originaron estructuras que serían denominadas Pre-Ciclo Andino, y que se dieron en gran extensión originando un debilitamiento en la corteza y por ende el sitio de mayor deposición marina, incluyendo los productos de isla volcánicos provenientes del arco magmático al oeste. En el Jurásico medio se dio inicio a la formación de la cuenca de Arequipa controlada por fallas sinistralas transtensionales de orientación NW-SE. La sedimentación de esta cuenca continuó hasta el Cretáceo donde se depositó los bancos carbonatados de la Formación

Arcurquina (Aptiano a Santoniano), correlacionable con Ferrobamba. En el área del margen continental activo el arco magmático continuó su actividad volcánica produciendo los Volcánicos Matalaque.

Ciclo Andino.

Está caracterizado por 3 fases principales: peruana, Inca y Quechua.

Fase Peruana.

Es el evento tectónico de mayor intensidad (84-79 Ma, Santoniano, Cretáceo Tardío), cuyo ratio de convergencia fue de aproximadamente 15-18 cm/año, una velocidad alta determinada por reconstrucciones paleotectónicas. Estos estudios han determinado que la dirección de convergencia de placas fue NE-SW.

Fase Inca.

El cinturón Incaico es caracterizado por sistema de fallas transversales al andino NE-SW o incluso E-W, tanto como NW-SE con movimientos laterales y verticales. En el sur del Perú esta fase está caracterizada por pliegues apretados. Entre el área

de Lircay y Ayacucho el plegamiento y fallas inversas tienen una dirección de NW – SE. La región SW del Alto Cusco – Puno, es caracterizado por pliegues de gran longitud de onda y trend N-NW-S-SE, como en el sinclinal de Sicuani. Por ejemplo, los sistemas de fallas tienen una orientación aproximada EW en el área de Abancay y son sinestrales, como la falla Mollebamba

N70W, el cual puede ser seguido por más de 100km. Hacia el sur, en el sector de Sicuani-Marangani, el Alto de Cusco-Puno es cortado por sistemas de fallas en echelón, N70-80W, sinestral.

Fase Quechua.

Se caracteriza principalmente por el cambio de la dirección de convergencia de E-NE a EW. El ratio de convergencia aumenta de 6 cm/año a 13 cm/año. Se originan pliegues y fallas inversas, seguido de un período erosivo llamado superficie Puna. El cinturón sub-andino fue el más afectado, formando el cinturón de pliegues y fallas inversas al este del área afectada por la deformación Inca. Durante estos movimientos compresivos se desarrollaron cuencas intramontañas del tipo graben, entre el flanco este del arco y el arco del Marañón. Este período tectónico fue acompañado por una gran subsidencia al este del foreland basin en el este del Perú. (Serna, 2009)

2.3.3. Geología local

Estratigrafía Local

Suelos Hidromórficos (Q-t)

Corresponden a los suelos que cubren depósitos fluvioglaciales, constituidos por arenas, limos y arcillas de origen orgánico, suaves, saturados, sin plasticidad, con espesores entre 1 m – 5 m y contenido abundante de restos de raíces.

En la Zona Coroccohuayco, se encuentran principalmente distribuidos en la parte superior e intermedia de los cauces de las quebradas Quiscocampanilla, Campanilla, Ccellocacca, Coroccohuayco, entre otros.

Depósitos Aluviales (Q-al)

Este tipo de depósitos corresponde a materiales transportados y depositados por acción del agua de escorrentía. Comprende gravas pobremente gradadas, con matriz areno-limosa, de color gris claro a oscuro y marrón, sueltos a compactos, húmedos a saturados, sin plasticidad o con plasticidad baja en las zonas donde hay mayor volumen de material fino. El porcentaje del material gravoso suele ser de 60% – 65%, las arenas están entre 30%– 35% y el material fino es menor al 5% del volumen total. Suelen formar terrazas en una o ambas márgenes de los cauces de ríos, con espesores entre 1 m a más de 20 m.

En la Zona Coroccohuayco los depósitos se presentan en ambas márgenes de los cauces de los ríos Ocoruro y Salado.

Depósitos Coluviales (Q-co)

De corta extensión y comprenden una mezcla de bloques, cantos y grava angulosa a subangulosaheterométricas, de naturaleza ígnea, samítico – pelítica y calcárea, rodeados por una matriz arenosa con contenidos bajos de limo. Presenta bloques aislados que pueden medir hasta 3 m de diámetro. En la Zona Coroccohuayco se presentan estos depósitos próximos a las quebradas Huaccollo, Coroccohuayco, entre otras.

Depósitos Fluvioaluviales (Q-fl-al)

Son materiales transportados y depositados por acción de la escorrentía, compuesto por gravas de matriz areno-limosa, color gris claro a oscuro y marrón, sueltos a compactos, húmedos a saturados, sin plasticidad o de plasticidad baja en zonas donde existe mayor cantidad finos. Suelen formar terrazas en una o ambas márgenes de los cauces de ríos, con espesores hasta 40 m.

Estos depósitos se distribuyen en la Zona Antapaccay-Tintaya en las áreas donde se encuentran los ríos Cañipía, Choco, Huinimayo y Huilcarani; así como en las quebradas Cotimayo y Ccatun Mayo.

Depósitos Fluvioglaciares (Q-fg)

Estos depósitos están conformados por grava arenosa con limos y arcilla y arena arcillo-limosa con grava y algunos bloques; de consistencia compacta a densa y plasticidad media a baja. El porcentaje del material varía entre 50% – 60% para la grava, 35% – 45% para la arena y 5% – 15% para los finos. El espesor de estos depósitos varía entre 1 m a 10 m. Estos depósitos suelen estar cubiertos por una capa de suelos orgánicos (turba).

En la Zona Coroccohuayco se distribuyen principalmente sobre el fondo de las quebradas tributarias de los ríos Salado y Ocoruro, tales como las quebradas Coroccohuayco, Quiscocampanilla, Campanilla, Huaccollo, Surahuaico, entre otras. Otros depósitos se presentan en la margen izquierda del Río Ocoruro.

Depósitos Morrénicos (Q-mo)

Estos depósitos presentan una morfología característica, formando lomadas suaves y alargadas compuestas por una mezcla de gravas, clastos y bolones de diferente tamaño y de naturaleza ígnea - sedimentaria, en matriz de arena limo-arcillosa, poco estratificadas, de compacidad densa a muy densa, de plasticidad media a alta y parcialmente cementadas por zonas. El porcentaje del material varía entre 15% – 35% para la grava, 25% – 50% para la arena y 15% – 60% para los finos. El espesor de estos suelos varía entre los 2 m y 20 m.

En la Zona Coroccohuayco se presentan en las lomadas ubicadas a la margen izquierda de la Quebrada Surahuaico, en la margen derecha de las quebradas Coroccohuayco y Huaccollo, y aguas arriba de la Quebrada Huasacancha.

Formación Yauri (N-y)

Esta formación está constituida principalmente por secuencias lacustrinas de tobas areniscas a limosas y conglomerados lenticulares fluviales, intercaladas localmente por depósitos de lahares, depósitos aluviales y flujos de huaycos de hasta 30 m de espesor, depositados en un ambiente lacustrino. Generalmente las tobas son de color gris blanquecino, dispuestas en capas delgadas que se intercalan con areniscas calcáreas de grano fino de color marrón rojizo y limoarcillitas de color

beige. En la Zona Coroccohuayco, los principales afloramientos se encuentran en las márgenes de los ríos Salado y Ocoruro. El contacto se presenta en discordancia angular con la Formación Casanuma, por lo que sobreyace indistintamente a tobas o a estratos con conglomerados.

Grupo Barroso

El Grupo Barroso está representado por las formaciones Casanuma y Huaycha.

Formación Casanuma (N-ca)

Litológicamente consiste en flujos lávicos de composición andesítica a dacítica que se intercalan con algunos flujos tobáceos de composición riolítica a dacítica de textura porfirítica a afanítica y aglomerado brechoide en matriz piroclástica. Superficialmente presenta color gris verdoso a gris pardo oscuro, meteorización moderada y fracturadas a muy fracturadas y con cobertura de suelos residuales. Se presentan afloramientos al oeste de la Zona Antapaccay-Tintaya y al sur de la Zona Coroccohuayco, por el cerro Quinsa Puquio. Por estar considerada dentro del Grupo Barroso, se le asigna una edad del Plioceno – Pleistoceno inferior.

Intrusivos Terciarios (Ti-int)

Unidad litológica de mayor importancia en el area junto con las calizas de la Formación Arcurquina - Ferrobamba. Consiste en stocks de composición diorítica, monzodiorítica, con algunos sills de granodiorita. Las rocas de composición más intermedia suelen cortar a las rocas de composición básica, por lo que se observa a las monzonitas y granodioritas cortando a tonalitas y dioritas. Las rocas son de color gris verdoso a pardo rosáceo, leucócratas a mesócratas, de grano porfirítico a fanerítico, con abundantes cristales de plagioclasas, hornblenda y ferromagnesianos, los cuales alcanzan a medir 5 mm.

Morfológicamente forma relieves ondulados y suaves a manera de lomadas, con cumbres con afloramientos y poca cobertura de suelos. Ocasionalmente se observan algunos diques de composición andesítica y granodiorítica que cortan el batolito, con orientación promedio 140° al norte y buzamiento 60° al noreste.

En las zonas de contacto con las rocas sedimentarias, la roca es microcristalina, con una textura afanítica.

Por efecto del metamorfismo, se ha producido recristalización, marmolización, silicificación o reemplazamiento metasomático que en forma conjunta con la circulación de fluidos hidrotermales, han ocasionado que los afloramientos suelen presentarse en estadios de diferentes grados de alteración hidrotermal, de acuerdo a su cercanía o lejanía al área de estudio. Esto afecta fuertemente su resistencia, la cual varía desde moderada en rocas con fuerte alteración hidrotermal (36 MPa en monzonita alterada de Coroccohuayco) hasta muy alta en rocas ígneas frescas sin alteración hidrotermal (232 MPa en diorita fresca del Cerro Cuchatira). El grado de meteorización del batolito varía de leve a intenso y está relacionado con zonas de contacto con las rocas caja y zonas de extremo fracturamiento. Los resultados petrográficos indican la presencia de rocas de composición intermedia a básica (gabrodioritas a dioritas), ricas en plagioclasas sódicas, anfíboles y piroxenos, y con trazas de cuarzo, micas y minerales magnéticos, de alteración supérgena. En la zona mineralizada de Coroccohuayco se presentan stocks de pórfido de tipo diorítico a monzodiorítico, con una presencia de cuarzo ligeramente mayor.

Las relaciones estratigráficas en diferentes zonas muestran que el batolito comenzó a manifestarse y emplazarse desde finales del Paleoceno hasta el Oligoceno. Los eventos de mineralización datados en diversas minas y proyectos de la zona indican que estos pulsos mineralizados ocurrieron entre el Eoceno medio y el Oligoceno, en la parte final del periodo de emplazamiento del batolito. El emplazamiento de cuerpos de pórfido de composición monzonítica en zonas de rocas carbonatadas y silicoclásticas recristalizadas, moderadamente fracturadas permitió la formación de yacimientos mineros presentes en la región, de similares características al del yacimiento Coroccohuayco.

En la Zona Coroccohuayco se presentan en las partes altas y las márgenes de las quebradas Coroccohuayco y Surahuaico, así como también en los cerros Yoraccasa, Ccarhuacha, entre otros.

Formación Ferrobamba / Arcurquina (Km-fe)

Formación calcárea con afloramientos ampliamente distribuidos. Está compuesto por estratos medianos a gruesos de caliza cristalina, de color gris claro a gris oscuro, e intercalados con horizontes de caliza micrítica nodular, con venillas de esparita, con ligero contenido de carbón y pobre en microfósiles, con diferente grado de recristalización y/o marmolización por metamorfismo, presentan disolución superficial, y estructuras cársticas por sectores. El análisis mineralógico indica una predominancia de calcita, con trazas de plagioclasas y cuarzo que pueden indicar una ligera alteración metasomática por su cercanía a los yacimientos de Tintaya, Antapaccay y Corocchohuayco.

Por sus características de resistencia, fracturamiento y meteorización se considera que la secuencia es estable, pero puede presentar un riesgo moderado de fallas tipo planar por la orientación y ángulo de buzamiento de los estratos, la formación de falla tipo cuñas con el fracturamiento. Por la posición estratigráfica, a esta formación se le ha asignado una edad de Cretáceo superior.

En la Zona Corocchohuayco se encuentra afloramientos de esta unidad en la parte alta de la Quebrada Quiscocampanilla, en la margen izquierda de la Quebrada Surahauico y en los cerros Fito y Chapi.

Formación Mara / Murco (Ki-ma)

Secuencia sedimentaria conformada por una sucesión delgada (50 m – 80 m) de arenisca arcosa, lutita y limolita rojiza a negra, ricas en material orgánico, bituminosas, friables, frágiles a resistencia moderada, fracturamiento moderado, con pirita diseminada por zonas, dispuestas en estratos delgados plegados de manera moderada a fuerte. En los contactos con pulsos intrusivos ígneos esta secuencia se silicifica y en algunas zonas de metasomatiza hasta convertirse en hornfelds (Bernabé et al. 2008).

Su contacto es concordante o fallado con la Formación Hualhuani y ligeramente discordante con la Formación Arcurquina – Ferrobamba. No se han encontrado

fósiles en la zona, pero por su posición estratigráfica se le asigna una edad Cretáceo inferior – medio.

Formación Hualhuani/Soraya (Ki-hu)

Esta formación es la última fase de sedimentación del Grupo Yura e indica una regresión a un nivel tidal desde niveles de plataforma (Formación Gramadal, no aflorante en la zona). La secuencia presenta una morfología moderada a agreste debido a la resistencia moderada a alta de los estratos, formando en la zona colinas de gran altura. Litológicamente está conformada por secuencias alternadas de arenisca cuarzosa y cuarcita de color gris claro a blanquecino, granos fino, medios y gruesos, en estratos de espesor medio a grueso.

La secuencia estratigráfica presenta una clara sucesión de tendencias grano crecientes a grano decrecientes, con pátinas de óxidos de hierro en fracturas y en superficie. A nivel local y también por acción hidrotermal, se observan secuencias de brechas sedimentarias de origen autógeno (sin-sedimentaria), consecuencia de la intrusión de diques dacíticos a monzoníticos.

Por sus características de resistencia, fracturamiento y meteorización se considera que la secuencia es en general estable; sin embargo, puede presentar un riesgo de fallas tipo planar por la orientación y el ángulo de buzamiento de los estratos hacia el Este. También puede presentar fallas tipo cuña por la intersección del buzamiento y el fracturamiento.

Sus principales afloramientos se observan en las partes altas de los cerros Condorsayana, Ccarhuacha, Ccoyme, Supo y Ccatun Ccoime, y en la Quebrada Ccamac Mayo, al este del Depósito de Relaves de Tintaya. No se han encontrado fósiles en la zona pero por su posición estratigráfica reconocida a nivel regional se le considera de edad Cretáceo inferior.

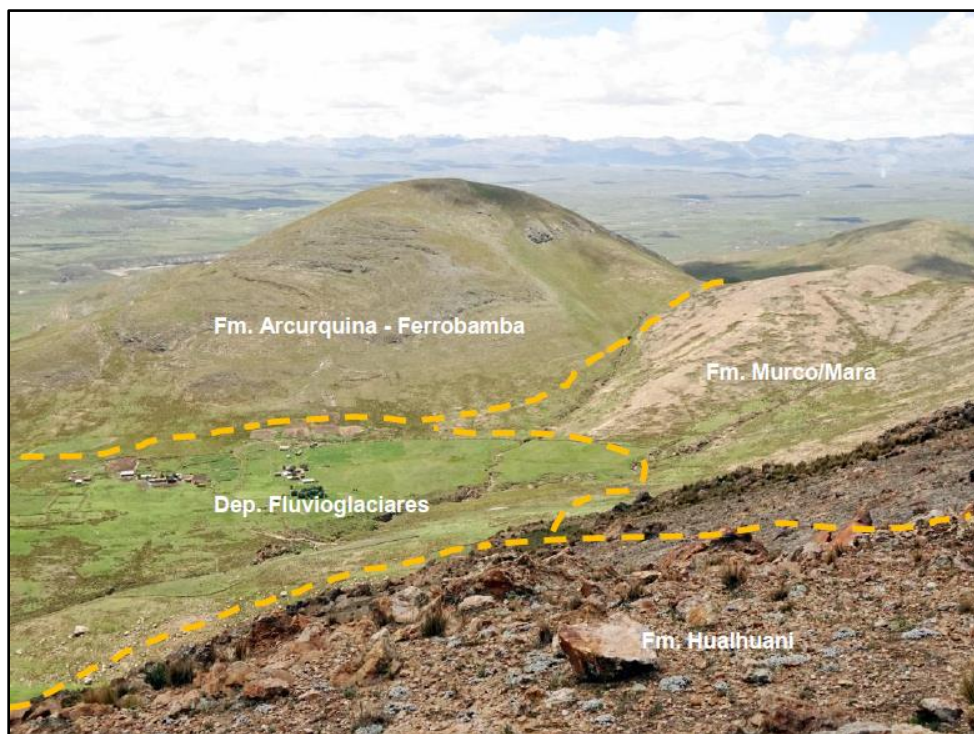


Imagen 3 :Cerro Fito (Fuente del autor)



Imagen 4 :Vista de la Quebrada Huaccollo hacia Aguas Abajo. Se observa la litología dominada por areniscas cuarzosas y calizas en sucesiones cortadas por fallamientos y pliegues. En la zona inferior derecha se observa un intrusivo de composición tonalítica– diorítica. (Fuente del autor)



Imagen 5 : Vista panorámica del cerro Ccatum Ccoime
A la mano derecha se observa la Zona Coroccohuayco. A la mano izquierda se ve afloramientos de caliza rodeados de areniscas cuarzosas. (Fuente del autor)

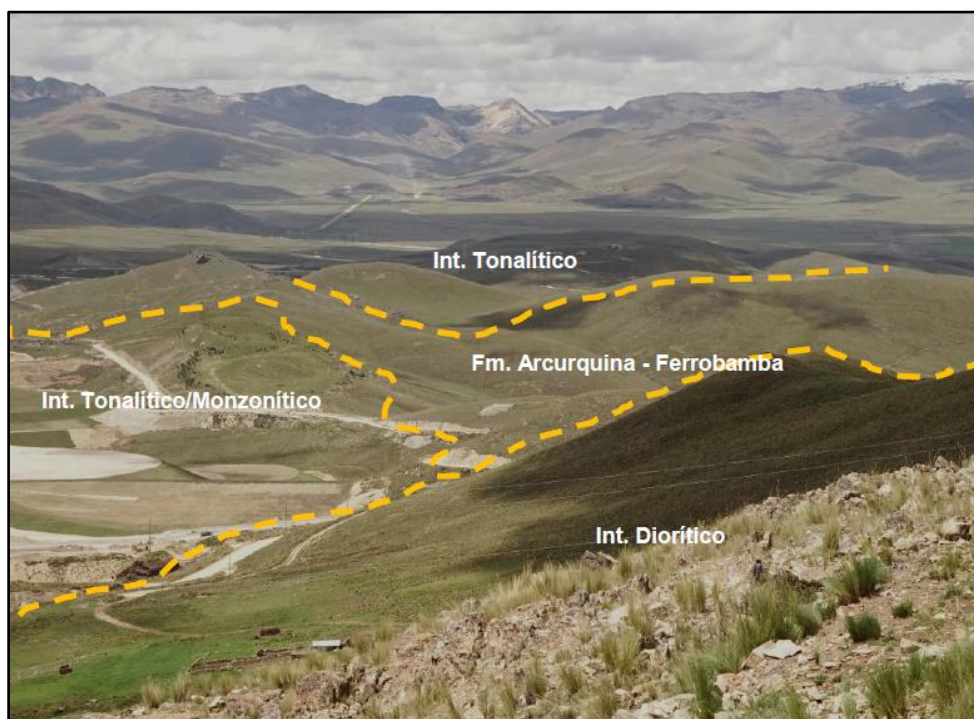
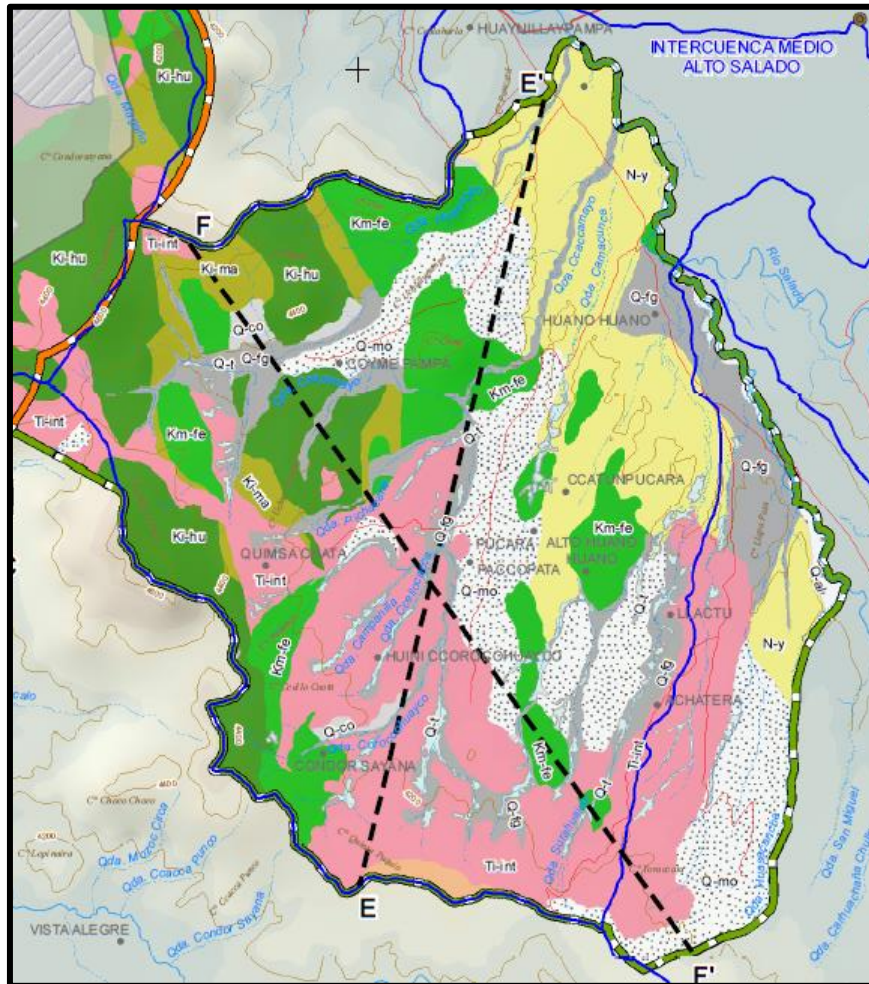


Imagen 6 : Vista del Cerro Chuncholañai.
Hacia la derecha los afloramientos de la Formación Arcurquina - Ferrobamba, intruídos por un pórfido tonalítico a monzonítico en la izquierda al costado de la carretera. (Fuente del autor)

















ERA / PERIODO		SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	LITOLOGÍA
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	DEPÓSITO ANTRÓPICO	
			SUELOS HIDROMÓRFICOS	
			DEPÓSITO ALUVIAL	
			DEPÓSITO COLUMIAL	
			DEPÓSITO FLUVIOALUVIAL	
		PLEISTOCENO	DEPÓSITO FLUVIOGLACIAL	
			DEPÓSITO MORRÉNICO	
			FORMACIÓN YAURI	
	NEÓGENO	PLIOCENO	FORMACIÓN CASANUMA	
			FORMACIÓN HUAYCHA	
PALEÓGENO	PALEOCENO - EOCENO	INTRUSIVOS TERCARIOS		
MESOZOICO	CRETÁCEO	MEDIO	FORMACIÓN FERROBAMBA / ARCURQUINA	
		INFERIOR	FORMACIÓN MARA / MURCO	
			FORMACIÓN HUALHUANI / SORAYA	

Imagen 7: Mapa geológico del área del proyecto y unidades litoestratigráficas.

2.3.4 Geología estructural

La zona este de la cadena occidental de la Cordillera de los Andes ha sido durante el Triásico y el Jurásico un alto estructural que separaba la profunda cuenca Yura (Arequipa) de la cuenca Putina (Puno), denominado el Umbral Cusco – Puno o Altiplano (Audebaud et al. 1976; Jaillard y Sempere 1989; Carlotto 1992,1998, 2004; Perelló 2003).

Este alto estructural se erosionó y fue nuevamente sumergido durante el Cretáceo, en que se depositaron a nivel regional las secuencias silicoclásticas y pelíticas de las formaciones Hualhuani y Murco y las secuencias calcáreas de la Formación Arcurquina - Ferrobamba en un ambiente deltaico que va progresando a una plataforma carbonatada, limitada hacia el este. Las secuencias calcáreas sufrieron una deformación post deposicional como consecuencia del colapso de la plataforma marina, que en la zona de estudio se manifiesta a manera de bloques aislados con orientación local caótica pero con orientación regional definida (Caillot 2008). La Orogenia Inca, de tipo compresivo, plegó las secuencias sedimentarias del Cretáceo inferior, formando pliegues amplios en las secuencias silicoclásticas.

Durante la fase compresiva y ascendente de la corteza se activaron varias fallas de sobreescurreamiento en la parte oeste de la cadena occidental (zona de Huanzo) y fallas normales de alto ángulo y orientación noroestesureste, norte-sur y este-oeste. Estas fallas normales de alto ángulo, entre el Eoceno y Oligoceno fueron bastante activas y en conjunción con los sistemas de fallas Condoroma – Caylloma y las fallas Cusco – Lagunillas – Mañazo; permitieron la intrusión de pulsos magmáticos mineralizados en la zona (Batolito Andahuaylas – Yauri). Las fallas cercanas más importantes de la zona son: Pomacanchis, Cusicamba, Santo Tomás, Tastani y Yauri (INGEMMET 1995).

La orogenia compresiva Quechua del Mioceno elevó la zona hasta los 4 000 msnm. Los eventos compresivos y distensivos ocurridos durante el Neógeno y Pleistoceno configuraron una cuenca intracordillerana (cuenca El Descanso – Yauri) donde se formó un gran lago en el cual se depositaron las secuencias tobáceas y lacustrinas

de la Formación Yauri. En la región no se ha observado evidencias o manifestaciones de fallamiento activo, de igual forma la revisión de la información técnica especializada no indica la existencia de fallas activas en la región

2.3.5 Geología del Yacimiento Coroccohuayco

El yacimiento Coroccohuayco ha sido originado por procesos metasomáticos de contacto, entre rocas sedimentarias carbonatadas y soluciones hidrotermales, asociadas a la intrusión de monzonita en pulsos magmáticos, todo esto en una zona de estructura sinforme.

La mayor parte de las rocas intrusivas en el yacimiento Coroccohuayco son pobremente mineralizadas a pesar de que las vetas de cuarzo pueden estar presentes. El pórfido monzonítico por sus características texturales y de alteración ha sido dividido en siete subunidades. Este pórfido es por lo general no mineralizado, excepto en la parte norte del depósito donde localmente está muy vetado y alcanza altas concentraciones de cobre (mayor del 5% Cu) cortando al skarn preexistente. La mineralización se origina en el interior del pórfido como vetillas de cuarzo - calcopirita \pm molibdenita (con espesor de 1 mm hasta 4 cm) y se torna más masivo hacia la periferia de la masa ígnea con la disminución de molibdenita. Las vetillas de cuarzo – bornita \pm calcopirita, con varios centímetros de espesor, aumentan su ancho y el contenido de cobre en la misma dirección. La mineralización de cobre se encuentra diseminada en el intrusivo con leyes bajas a diferencia de la mineralización dentro del skarn. Los minerales de mena son: cuprita, crisocola, melaconita, bornita, calcopirita, calcosina, entre otros (Maher 2010).

La principal zona mineralizada se encuentra en el cuerpo de skarn, el cual está muy relacionado con el tipo de alteración calco-silicatada. La alteración ha generado en zonas de mena tres franjas bien distinguibles: la zona marmolizada, con abundante alteración piroxénica; la zona de granates verdes, principal franja mineralizada donde se observa más bornita en relación a calcopirita y donde el porcentaje de cobre alcanza el 2%; y la zona de granates oscuros, con alteración piroxénica y de menor contenido de cobre en ensamble bornita-calcopirita. La mineralización en venillas y mantos son de menor importancia y por lo general se presentan en bandas

de hasta 20 cm de espesor. La magnetita de tipo masivo suele observarse en el límite entre el skarn de granate y la zona de mármol.

La alteración de las rocas encajonantes es la típica de una zona de pórfido, con propilitización en los intrusivos tonalíticos-dioríticos, pasando a argilización de la alteración fílica, sericítica y potásica en el intrusivo monzonítico.

En la zona del skarn se diferencia con claridad la zona del endoskarn, compuesta por granates rojo-marrón pálido, y observable en el pórfido monzonítico contemporáneo con la mineralización. La zona del exoskarn es reconocible por su alteración calco-silicatada, con la presencia de mármol, hornfelds y franjas de granates, piroxenos, magnetita, anfíbol, cuarzo y minerales carbonatados.

La distribución de las zonas de skarn en el yacimiento Coroccohuayco, sugieren la existencia de dos centros principales de alteración metasomática, ubicados al norte y sur del. La zona sur se encuentra más cercana de los pulsos intrusivos y presenta un mayor desarrollo del endoskarn, por contraste la zona norte presenta un mayor espesor del exoskarn, con una intensidad de la mineralización que disminuye hacia el norte.

La zona supérgena del yacimiento está cubierta por óxidos, carbonatos y silicatos de cobre (malaquita, azurita, crisocola) y hierro (limonitas, hematita, magnetita), a manera de una capucha con un espesor promedio de 20 m; esta es seguida por la zona de transición donde se encuentran óxidos y sulfuros (cuprita, tenorita, bornita, calcosina). Esta zona transicional varía entre 20 m y 40 m de profundidad.

BASES TEÓRICAS

En tajos abiertos y en otro tipo de yacimiento se hacen perforaciones , tal como la perforación diamantina, la información que proveen estas perforaciones nos dan las herramientas necesarias para poder determinar la calidad y cantidad del yacimiento, el espaciamiento de las perforaciones pueden responder a una malla predeterminada y los taladros en general son verticales, pero las dificultades topográficas o la necesidad de interceptar algún cuerpo pueden hacer que la perforación tenga algún grado de inclinación.

La perforación diamantina utiliza un cabezal o broca diamantada, que rota en el extremo de las barras de perforación (o tubos). La abertura en el extremo de la broca diamantada permite cortar un testigo sólido de roca que se desplaza hacia arriba en la tubería de perforación y se recupera luego en la superficie. El cabezal diamantado gira lentamente con suave presión mientras se lubrica con agua para evitar el sobrecalentamiento. La profundidad de perforación se estima manteniendo la cuenta del número de barras de perforación que se han insertado en la perforación.

El logueo de los taladros se realiza generalmente a medida que avanza la perforación, durante el logueo se levanta toda la información posible:

Nro. Muestra, Diámetro del núcleo, Mineralización, Roca, Alteración, RQD, Presencia de minerales (py, cpy, mo, cc, bn, cv), intensidad de alteración, etc. De manera similar el área de Geotécnia obtiene información geotécnica que le permita clasificar el macizo rocoso para el análisis de estabilidad de taludes. (PAIHUA, 2010)



Imagen 8 : Plataforma de perforación diamantina-Proyecto Coroccohuayco.
(Fuente del autor)

2.3.4. Clasificación del Macizo Rocoso

La información geotécnica obtenida a partir de los testigos de sondajes es usada para valorar el macizo rocoso de acuerdo a su “calidad”. Los métodos de clasificación de macizos rocosos proporcionan una base para esta evaluación y permiten comparar diferentes condiciones de macizos rocosos encontrados en otros lugares de una misma mina ó con otras minas. Los sistemas de clasificación se han ido refinando a través de los años hasta incluir una larga base de datos de excavaciones y condiciones del terreno.

Particularmente, dos han sido los esquemas de clasificación de macizos rocosos más ampliamente usados en la industria civil y minera. Estos son el Sistema Q de Barton, Lien y Lunde (o Sistema NGI) y el Sistema RMR de Bieniawski (o Sistema CSIR). Aunque los sistemas son diferentes, ellos se basan en la obtención de información similar en orden a clasificar la calidad del macizo rocoso. Ellos están basados en parámetros tales como la resistencia de la roca intacta, condición y espaciamiento del fracturamiento, presión de aguas subterráneas y orientación de las estructuras geológicas con respecto a las excavaciones subterráneas. El “valor de calidad” resultante puede otorgar una valiosa ayuda para diseñar excavaciones estables y también para apoyar la predicción de los requerimientos de refuerzos de las excavaciones. (Carrasco, 2003)

2.3.5. Formato de Registro de Sondaje.

El formato de registro o logueo utilizado para describir las características geotécnicas de un macizo rocoso está basado en prácticas estándares internacionales, y está estructurado para proveer todos los datos necesarios para proceder a la clasificación de los macizos rocosos dentro de los esquemas de clasificación geotécnica del macizo rocoso anteriormente mencionados. Proporciona además, una guía de terreno simplificada, la cual involucra un conocimiento general de la geología, de su terminología y procesos asociados.

Los siguientes parámetros básicos son requeridos para un registro geotécnico de testigos:

- Diámetro del Testigo y Condiciones de Agua;
- Intervalo Perforado (ó Profundidad, Carrera o Corrida);
- Parámetros de Recuperación del Testigo (Recuperación, RQD y Total de Fracturas);
- Tipo de Roca (Litología);
- Parámetros de Resistencia de la Roca Intacta (incluye Índice de Dureza de la Roca e Índice de Meteorización);
- Conteo, Orientación y Condición de Fracturas (diferentes parámetros dependiendo del sistema de clasificación geotécnico empleado que se detallan más adelante)
- En el caso que el loggeo de testigos se efectúe sobre sondajes inclinados y debidamente orientados, además de los parámetros señalados anteriormente, y de acuerdo al sistema de orientación, se deberán medir además:
 - El ángulo DIP de la discontinuidad,
 - El ángulo DIP DIRECTION de la discontinuidad,
 - Profundidad de cada una de las discontinuidades medidas;

2.3.6. Fotografías de los Testigos de Perforación

Muchos proyectos mineros han adoptado fotografiar las cajas de testigos como una práctica usual. Esto proporciona un registro permanente de los sondajes, al cual se puede acceder fácilmente a fin de verificar visualmente la información geológica y geotécnica recolectada durante el loggeo de los testigos.

El costo de la fotografía de testigos es ínfimo en comparación al costo de la perforación de sondajes y del registro geológico y geotécnico mismo, en tanto que su utilidad puede ser insospechadamente importante.

Todas las cajas de testigos deberán ser fotografiadas en color, preferiblemente tanto en su condición en seco y también en su condición húmeda.

Imagen 9 : Caja de testigo de roca, muestra de skarn de magnetita. (Fuente del autor)



Las cajas deben ser claramente identificadas con el nombre y número del proyecto, el nombre del sondaje, la fecha de perforación y el tramo de profundidad involucrado, como información mínima. Esta identificación en la actualidad puede ser manejada y mejorada enormemente con la tecnología de las cámaras digitales y procesamiento de las imágenes.

Los testigos deben estar limpios, para permitir la identificación de las unidades geológicas. La mejor fotografía se obtiene perpendicular a la caja de testigos, con luz solar sin sombras ó con relleno de flash electrónico a fin de asegurar condiciones de exposición consistente y uniforme. Cabe indicar también que deberán ser fotografiados en el mismo sitio de perforación cada corrida perforada e incluso antes de ser logueada y en la misma lina del triple tubo. Para la identificación de cada una de las fotos (nombre y número de proyecto, número del taladro, profundidad de la corrida, fecha, Ing. supervisor etc.) será necesario tener una pizarra acrílica de tamaño adecuado para tal fin. (RAMIREZ CARDENAS, 2008)

Diámetro del Testigo, del Revestimiento y Condiciones del Agua

En estas columnas iniciales se anotarán el diámetro del testigo obtenido ó el diámetro de la perforación, de acuerdo al tramo de profundidad perforado. Se aconseja utilizar la nomenclatura convencional de diámetros de sondajes, tales

como PQ, HQ, NQ, BQ, etc. También se pueden anotar datos del tipo de la perforación y tipo de la herramienta de perforación si es necesario.

Así mismo se anotaran el diámetro y profundidad de la tubería de revestimiento que se utilizara en la perforación, para poder evitar los desmoronamientos dentro del mismo, por efecto de encontrar suelos o rocas deleznales.

También en estas columnas se debe indicar la profundidad del nivel freático natural, las variaciones de éste si es que se miden periódicamente (al menos 02 veces por turno), o las profundidades donde hay pérdida total o significativa del agua durante la perforación. En este último caso, la recuperación del fluido de la perforación ó retorno puede ser expresado porcentualmente.

RQD (Rock Quality Designation)

El RQD es un índice cuantitativo de la calidad de la roca basado en el procedimiento de recuperación de testigos, mediante el cual se consideran sólo aquellos trozos de testigos cuya longitud es $>$ a los 10cm. Longitudes más cortas deben ser ignoradas. El RQD se determina utilizando la siguiente expresión

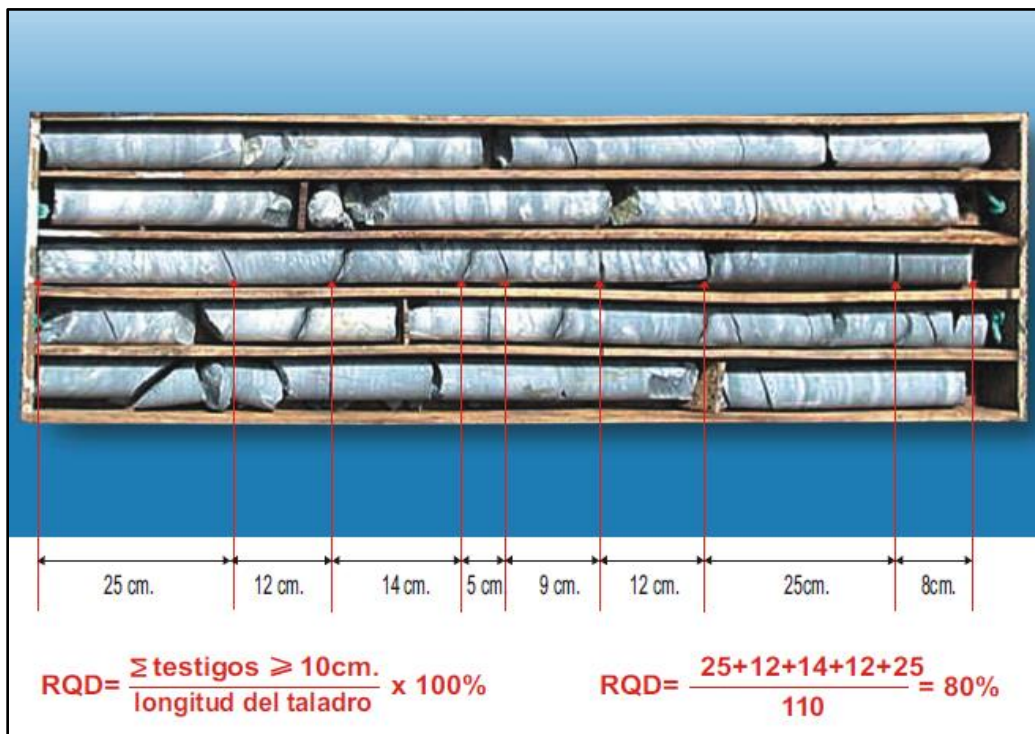


Imagen 10 : RQD.

Puede ser expresado en porcentaje (%) y se calcula para cada corrida. Solo se aconseja precisiones en las medidas del orden del 1%, es decir, porcentajes sin decimales.

También el RQD puede ser expresado en la hoja de logueo en una fracción, señalando en la parte superior (numerador) la longitud total recuperada de testigos mayores o iguales a 10cm y en la inferior (denominador) la longitud de la corrida.

Es muy importante distinguir en los testigos las fracturas que son mecánicamente inducidas por la perforación de aquellas fracturas que son naturales. Una fractura mecánica causada por el manejo de los testigos no afecta adversamente el valor de RQD, el cual es una medida de la calidad de la roca *in situ*. Los trozos de testigos separados mecánicamente deben ser incorporados a la unidad sólida de testigo más próxima a fin de obtener un valor de RQD más real. Naturalmente, la ocurrencia de estas fracturas debería ser marcada con un lápiz crayón de color para ayudar en este proceso.

El RQD es válido sólo para testigos sólidos y no debería ser usado cuando se encuentren materiales muy pobremente endurecidos, tales como arcillas y arcillitas frágiles. En estos casos, las letras N/A (no aplicable) deberían ser registradas en la columna de "Comentarios" y asignar un valor arbitrario de cero al RQD (m) sólo para efectos estadísticos del procesamiento de los datos.

2.3.7. Parámetros de Resistencia de la Roca Intacta

Índice de Dureza

El índice de Dureza de los trozos de un testigo intacto corresponde a una estimación indirecta de la resistencia de un macizo rocoso. La palabra “intacto” se usa en términos de “trozo entero” y no debe confundirse con “fresco” ó “inalterado”. En términos más detallados, se puede definir como *roca intacta* a un volumen de roca de tamaño pequeño y que incluya todos los componentes de la roca considerada, pero sin mostrar irregularidades ni defectos tales que influyan la cinemática de su ruptura.

Tabla 2 : Índice de dureza

Símbolo	Descripción	Características de Terreno	Resistencia a la Compresión Uniaxial (Mpa)	Índice de Carga Puntual (MPa)
R0	Extremadamente Débil	La roca puede ser marcada por la uña del pulgar.	<1	(1)
R1	Muy Débil	Se disgrega o desintegra al golpe firme con la punta del martillo geológico. Puede ser escarbada con un cortaplumas.	1-5	(1)
R2	Débil	Con dificultad puede ser escarbada con un cortaplumas. Marcas superficiales pueden ser hechas con un golpe firme con la punta del martillo geológico.	5-25	(1)
R3	Moderada o Medianamente Dura	No puede ser escarbada con un cortaplumas. Se rompe con un golpe firme del martillo geológico.	25-50	1-2
R4	Dura	Se rompe con más de un golpe del martillo geológico.	50-100	2-4
R5	Muy Dura	Se requieren muchos golpes del martillo geológico para romper la roca.	100-250	4-10
R6	Extremadamente Dura	Los golpes del martillo geológico sólo obtienen esquirlas.	>250	>10
Referencia: Brown, 1981, “Suggested Methods for Rock Characterization Testing and Monitoring”, International Society for Rock Mechanics.				

2.3.8. Índice de Meteorización y de Alteración

El grado de meteorización se estima usando la nomenclatura descrita en la Tabla 1

Esta identificación proporciona una medida cualitativa del grado de meteorización para el material rocoso original.

En algunos proyectos, particularmente para los clientes de minería, el grado de alteración puede causar una reducción a la resistencia o competencia de la roca, la meteorización reduce la resistencia de las rocas cercanas a la superficie.

También es claro anticipar que con el aumento de la profundidad del sondaje disminuirá el grado de meteorización, y podría dar lugar a la aparición de otro tipo de alteración en general de origen hidrotermal que incluye los procesos de silicificación, cloritización, agilización, propilitización y sericitización entre los más frecuentes- las cuales comenzarán a tener mayor influencia en la resistencia de la roca, por lo que eventualmente se deberá informar el tipo de alteración y su intensidad. Algunos autores utilizan el literal A como identificación

Se comprende la alteración como la disgregación de la roca mediante procesos químicos como alteración hidrotermal y/o supérgena. La disgregación o descomposición de la roca mediante el proceso físico de erosión es determinada como Meteorización. El índice de meteorización ISRM (1981) tipifica el grado de meteorización.

Tabla 3 : Índice de Meteorización

Término	Símbolo	Descripción	Extensión de la Decoloración	Condición de la Fractura	Características Superficiales
Fresca (no meteorizada)	W1	Sin signos visibles de meteorización	No	Cerrada o decolorada	Sin cambios
Levemente Meteorizada	W2	Decoloración indica meteorización de la roca en la superficie de las discontinuidades	<20% del espaciamiento de la fractura en ambos lados de la fractura	Decolorada, puede contener rellenos de poco espesor	Decoloración parcial
Moderadamente Meteorizada	W3	<50% del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado hasta el punto de parecer suelo. Roca fresca o decolorada está presente en forma discontinua o como núcleos	>20% del espaciamiento de la fractura en ambos lados de la fractura	Decolorada, puede contener rellenos de espesor significativo	Parcial a total decoloración, no disgregable excepto rocas pobremente cementadas
Muy Meteorizada	W4	>50% del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado hasta el punto de parecer suelo. Roca fresca o decolorada está presente en forma discontinua o como núcleos	Completa	Relleno con minerales de alteración	Disgregable y posiblemente con picaduras o agujeros
Completamente Meteorizada	W5	El 100% del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. La estructura original está aun mayoritariamente intacta	Completa	Relleno con minerales de alteración	Parece suelo
Suelo Residual (Aplica solamente a meteorización)	W6	Toda la roca está convertida en suelo. La fábrica y estructura original de la roca está destruida. Hay cambio de volumen, pero el suelo no ha sido significativamente transportado	Completa	N/A	Parece suelo
Ref. Brown, 1981, "Suggested Methods for Rock Characterization Testing and Monitoring", International Society for Rock Mechanics					

Registro de grado de alteración corresponde al cuadro descrito en la Tabla 2. Esto proporciona una medida cualitativa de los efectos del grado de la alteración de la masa rocosa original. Este cuadro es suficientemente generalizado como para ser útil en la clasificación de la alteración como se relata para la calidad de la masa rocosa para la mayoría de estos tipos de depósitos. Como bien, esta clasificación no requiere todo conocimiento del ensamblaje alterado definimos por términos como agilización, propilitización, o filica. La clasificación puede ser modificada fácilmente cuando es justificado para incluir tipos específicos de alteración que pueda tener una influencia en calidad de roca en un específico depósito.

Tabla 4 : Índice de Alteración (Fuente: ISRM 1981)

Término	Símbolo	Descripción
Roca Fresca	A1	Solo ensamblaje alterado que significa mejorar la propiedad de resistencia con respecto al tipo de roca madre. Por ejemplo, silicificación completa, roca dolomitizada, algunos tipo de silicificación (como asociados con mineralización skarn)
Roca Ligeramente Alterada	A2	Alteración generalizada está limitada en vetas y vetillas; pequeñas o no penetrantes de alteración más allá del entorno de las vetas/vetillas; no perceptible efectos en las propiedades de resistencia del tipo de matriz rocosa; rocas de contacto metamórfico como un hornfels o anfibolita.
Roca Moderadamente Alterada	A3	Alteración controlada por vetillas y puede penetrar paredes como vetitas orillas angostas o envueltas; la alteración puede ser persuasiva; la alteración da como resultado roca de baja resistencia, pero la roca puede ser dura y frágil.
Roca Muy Alterada	A4	Alteración penetrante de roca formando minerales y masa y ensamblaje de la masa rocosa que significativamente decrece las propiedades de resistencia de la matriz rocosa como sericita, clorita, ankerita, grafito, caolinita, talco, gypsum, O ANHIDRITA, obvia degradación de la resistencia; algunas venas individuales control es aún visible, superficies de fractura y orillas de vena, donde se indica, puede ser frágil.
Roca Completamente Alterada	A5	Intensa, penetrante, alteración completa de rocas minerales que forman a asociaciones minerales débiles como sericita, ankerita, grafito, caolinita, talco, gypsum, o anhidrita; masa rocosa puede ser frágil, o “podrida”, masa rocosa puede parecerse a suelo como en el caso de gouge fault; inter-cristalino se destruyen; no perceptible individual veinlet control, el ensamblaje alterado que resulta es casi completo, degradación de la resistencia relativa con respecto al tipo de roca madre.







ROCA FRESCA	W1 / A1	
LEVEMENTE METEORIZADA / ALTERADA	W2 / A2	
MODERADAMENTE METEORIZADA / ALTERADA	W3 / A3	
MUY METEORIZADA / ALTERADA	W4 / A4	
COMPLETAMENTE METEORIZADA / ALTERADA	W5 / A5	
SUELO RESIDUAL	W6	

Imagen 11 : Grados de Meteorización / Alteración

2.3.9. Discontinuidades

Corresponde identificar/colocar el tipo/clase de cada una de las discontinuidades encontrados en los diferentes intervalos de perforación (corridas) realizados.

Registre los tipos de discontinuidades presentes en el intervalo de logueo, usando las definiciones y abreviaturas que se indican a continuación en la Tabla 4

Tabla 5 : Tipo de Discontinuidad. (Fuente: ISRM 1981)

Tipo	Abreviación	Definición
Junta o Diaclasa	JN	Superficie de fractura en una roca, sin desplazamiento paralelo a la fractura
Veta, vetilla,	VN	Fractura de espesor finito la cual está rellena por minerales.
Falla	FLT	Fractura a lo largo de la cual ha sido desplazada la roca
Cizalle (Shear zone)	SHR	Zona de intenso fracturamiento, en general mayor a 40 fracturas por metro lineal
Foliación	FO	Dirección preferencial de debilidades estructurales en la roca debido a la alineación de minerales débiles, causada por temperatura y presión durante metamorfismo
Estratificación	BD	Plano de debilidad estructural causado por procesos sedimentarios
Contacto	CO	Cualquier superficie que marque un contacto entre dos unidades litológicas diferentes. Se puede evidenciar un contacto abierto o cerrado
Triturado (Broken Core)	BC	Una zona de roca triturada, angular sin material suave ni presencia de panizo de falla. Tiene generalmente algo menos del 100% de recuperación.
Vena	VN	Discontinuidad abierta relleno de otro mineral: cuarzo, calcita, etc.

2.3.11. Condición de las Fracturas

Esta columna se usará para señalar la condición del material de relleno más característico presente en las discontinuidades estructurales.

Para estimar la condición de las fracturas del macizo rocoso se usara tanto el sistema de clasificación Q de Barton, como RMR de Bieniawski de 1976 ó Bieniawski 1989, los cuales serán para satisfacer los requerimientos adecuados del proyecto o el estudio.

Ambas opciones no son excluyentes, sino más bien complementarias, dependiendo de las características y necesidades de información que demande el proyecto.

Tabla 6 : Condición de las Fracturas por Corrida Jcon: Valuación General (Bieniawski 1976)

Descripción	Valuación
Gouge suave > 5mm juntas continuas	0
Superficies con estrías de fricción o gouge < 5mm o juntas abiertas 1 - 5 mm, juntas continuas	6
Superficies ligeramente rugosas, separación < 1mm paredes altamente alteradas	12
Superficies ligeramente rugosas, separación < 1mm, paredes ligeramente alteradas	20
Superficies muy rugosas, fracturas no continuas, sin separación, inalteradas	25

Tabla 7: Condición de las Fracturas por Corrida Jcon: Valuación General (Bieniawski 1989)

Descripción	Valuación
Relleno blando, suave > 5mm de espesor, separación > 5mm. Fracturas continuas	0
Superficie con estrías de fricción o superficies pulidas con relleno blando < 5mm o separación de 1mm a 5mm. Fracturas continuas	10
Superficies ligeramente rugosas. Separación < 1mm, paredes/caras de fracturas de roca altamente meteorizadas o alteradas	20
Superficies ligeramente rugosas. Separación < 1mm, paredes/caras de fracturas de roca dura a ligeramente alteradas.	25
Superficies muy rugosas, fracturas discontinuas o no continuas, sin separación, no meteorizadas o inalteradas (paredes de roca dura).	30

2.3.12. Sistema RMR de Bieniawski (CSIR) - 1989

Usualmente es posible asignar a las superficies de las discontinuidades alguna característica asociada a su forma y a su condición general en el intervalo de logueo o corrida. En ocasiones, algunos proyectos requieren de una mayor precisión en la definición de este parámetro, razón por la cual, la Tabla 7 incluye un detalle de la valoración más estricta.

La condición de las discontinuidades toma en cuenta la separación entre sus paredes, su continuidad, la forma y rugosidad de su superficie, el estado de alteración de las paredes, la presencia así como la condición del relleno en las fracturas. (MEJÍA, 2014)

Tabla 8 : Guía de Condición de Fracturas - Valuación al Detalle

	Condición	Valoración
Longitud de la Discontinuidad (persistencia)	<1 m	6
	1 - 3 m	4
	3 - 10m	2
	10 - 20m	1
	>20 m	0
Separación (apertura)	Ninguna	6
	< 0.1 mm	5
	0.1 - 1.0 mm	4
	1 - 5 mm	1
	>5 mm	0
Rugosidad	Muy Rugosa (VR)	6
	Rugosa (R)	5
	Ligeramente Rugosa (SR)	3
	Suave o Liso (SM)	1
	Pulida o estrías (P o SS)	0
Condición de Relleno	Sin relleno: Ninguna	6
	Relleno Duro < 5 mm	4
	Relleno Duro > 5 mm	3
	Relleno Blando < 5 mm	2
	Relleno Blando > 5 mm	0
Meteorización o Alteración	Fresca(FR)	6
	Ligeramente Meteorizada (SW)	5
	Mediamente Meteorizada (MW)	3
	Altamente Meteorizada (HW)	1
	Completamente Meteorizada(CW)	0

2.3.13. Según Sistema Q de Barton, Lien y Lunde (NGI)**Rugosidad de las Fracturas (Jr)**

Se debe observar/describir la rugosidad de las fracturas en el intervalo de logueo o corrida, y registrar el valor basado en la Tabla 8. Se debe registrar la rugosidad de cada fractura individual.

Tabla 9 : Rugosidad de las Fracturas (Jr). (Ferrer y Gonzales de Vallejo 1999)

		Jr
A	Diaclasas sin continuidad (discontinua)*	4
B	Rugosas y onduladas	3
C	Suaves o lisos y onduladas	2
D	Estriadas (plano de falla) o pulidas pero onduladas	1.5
E	Rugosas o irregulares, pero planas	1.5
F	Suaves o lisas y planas/ rellenadas	1
G	Estriadas (plano de falla) o pulidas, pero planas	0.5

* Se refiere a que una Junta teniendo una dirección evidente es ininterrumpida por otra junta.

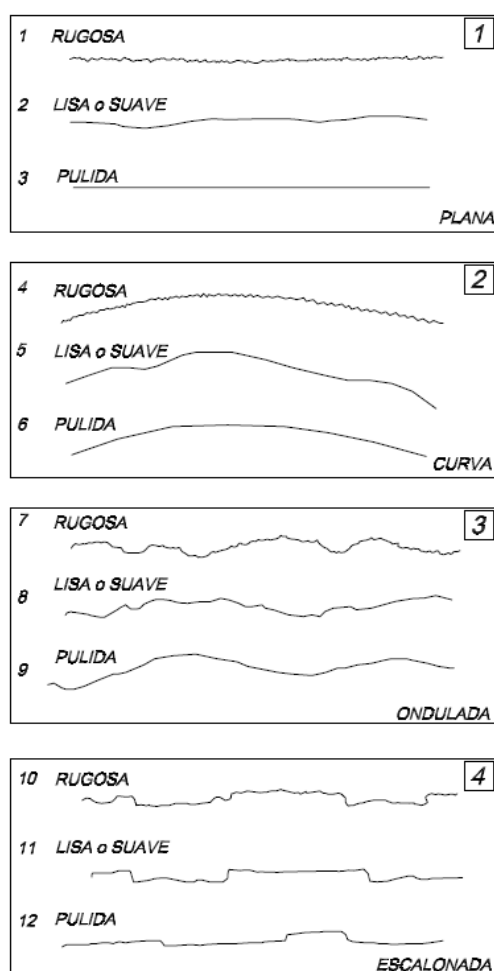
**Imagen 12 :** Forma y Rugosidad de las fracturas. (Ferrer y Gonzales de Vallejo 1999)



Imagen 13 : Rugosidad de las fracturas, casos prácticos.

2.3.14. Alteración de las Fracturas (Ja)

En adición a la rugosidad de las fracturas, el relleno de ellas también tiene un importante significado en la fricción de las discontinuidades. Cuando se considera el relleno, dos aspectos tienen mucha relevancia: el espesor y la composición mineral.

Se debe observar la alteración de las fracturas en el intervalo de registro o corrida, y registrar el valor de Ja, basándose en el contenido mineral. Esta valuación distingue entre aquellas fracturas que han sido rellenas con minerales de alteración, tales como arcillas, de aquellas que no lo son.

El relleno de fracturas disminuye la resistencia de la masa rocosa, por lo que incide reduciendo la estabilidad de las excavaciones mineras.

Se incluye una columna indicando el ángulo de fricción residual ϕ_r , como guía aproximada de las propiedades mineralógicas de los productos de alteración, si es que están presentes

Tabla 10 : Alteración de juntas. (Ferrer y Gonzales de Vallejo 1999)

a) Contacto entre paredes (sin relleno de minerales, sólo pátinas)		
	ϕ_r (aprox.)	Ja
Relleno soldado, duro, inablandable, impermeable (<i>i.e.</i> cuarzo, epidota) : Fractura ajustada		0.75
Paredes inalteradas, sólo con manchas de superficie	25-35°	1
Paredes ligeramente alteradas, con recubrimientos de minerales inablandables, partículas arenosas, roca triturada sin arcilla	25-30°	2
Recubrimientos/patinas limosos o areno-limosos, pequeñas partículas de arcilla (inablandable)	20-25°	3
Recubrimientos/patinas ablandables o con arcilla de baja fricción (caolinita o mica; también clorita, talco, yeso, grafito, etc., y pequeñas cantidades de arcillas expansivas). Recubrimientos sin continuidad de hasta 1 mm de espesor.	8-16°	4
b) Contacto entre paredes con relleno delgado de minerales		
	ϕ_r (aprox.)	Ja
Partículas arenosas, roca desintegrada sin arcilla	25-30°	5
Rellenos de minerales arcillosos muy consolidados/compactos e inablandables (continuos, pero < 5 mm de espesor)	16-24°	6
Rellenos de minerales arcillosos de baja consolidación a suelta (continuos, pero < 5 mm de espesor)	12-16°	8
Rellenos de arcillas expansivas (<i>i.e.</i> montmorillonita) (continuos, pero < 5 mm de espesor).	6-12°	12
c) Contacto entre paredes con relleno grueso de minerales		
	ϕ_r (aprox.)	Ja
Zonas o capas de arcillas, fuertemente consolidadas/compactos (continuos, pero > 5 mm de espesor).	6-12°	10
Zonas o capas gruesas y continuas de arcillas de baja consolidación a suelta (continuos, pero > 5 mm de espesor).	16-24°	15
Zonas o capas gruesas y continuas de arcillas expansivas. (<i>i.e.</i> montmorillonita) (continuos, pero > 5 mm de espesor).	12-16°	20
Nota : ϕ_r corresponde al ángulo de fricción residual aproximado		

2.3.15. Conjuntos o Números de las Fracturas (Jn)

Para la determinación del Jn en cada intervalo de logueo o corrida, se debe observar el tipo y orientación de las fracturas en el testigo, y registrar el valor basado en la Tabla 10. Un conjunto o set de fracturas se define como las estructuras paralelas que ocurren sistemáticamente con un espaciamiento característico (Ejm. foliación). Una fractura aislada es aquella que no ocurre sistemáticamente y generalmente no formará parte en la generación de bloques.

Tabla 11 :Conjuntos de Fracturas (Jn)

	Jn
Masiva, sin fracturas	0.5
Un sistema de fracturas	2
Un sistema de fracturas más una aislada	3
Dos sistemas de fracturas	4
Dos sistemas de fracturas más una aislada	6
Tres sistemas de fracturas	9
Tres sistemas de fracturas más una aislada	12
Cuatro o más sistemas de fracturas, fisuración intensa tipo “cubo”	15
Roca triturada, terregal	20

2.3.16. Falla y/o Testigos Triturados (Broken Core)

Las zonas de fallas y broken core se deben registrar como intervalos geotécnicos separados cuando excedan 0,5m en longitud. En caso de que tales zonas sean menores de 0,5m en longitud, se deberá incluir en la corrida correspondiente.

Los testigos rotos/triturados se caracterizan por presentar pedazos que no forman segmentos cilíndricos completos (Ejemplo: no son discos). El testigo roto consiste generalmente de fragmentos angulares. Estas zonas de roca triturada mayormente no presentan material suave ni presencia de salbanda. Tiene generalmente cerca del 100% de recuperación.

Falla: zona a lo largo de la cual ha habido un desplazamiento reconocible. Las paredes a menudo están pulidas o presentan espejos de falla como resultado del

desplazamiento del cizallamiento. Con frecuencia, la roca en ambos lados de la falla se encuentra destrozada, alterada o intemperizada, lo cual produce rellenos tales como panizo/brecha. El ancho de la falla puede extenderse desde milímetros hasta centenares de metros. Las zonas de falla tienen a menudo menos del 100% de recuperación. Se debe tener mucho cuidado en asignar el nombre de una falla. En algunos casos algunas discontinuidades contienen rellenos de arenas, limos o arcillas y pueden ser incorrectamente clasificadas como fallas, pero no habría evidencia de desplazamiento o cizalla. En tales casos estos deberían ser clasificados como discontinuidades con la apropiada característica

Cuando se encuentran estas zonas de falla, se debe poner especial cuidado al momento de asignar los parámetros J_r , J_a , JCR (Jcon) y la resistencia de la roca, aun cuando las fallas individuales no puedan ser identificadas.



Imagen 14 : Tramos de Falla con intervalos de Broken Core en roca Diorita.
(Fuente del autor)

2.3.17. Testigo de perforación orientado

Durante la perforación hay diversos métodos mecánicos disponibles para marcar el punto más bajo en la cara superior de una corrida de testigos. Como el proceso generalmente usa la gravedad para encontrar el punto más bajo, por lo general el proceso es factible únicamente en las perforaciones que presenten un buzamiento apreciable. La marca de orientación junto con el conocimiento permite que el testigo se oriente de manera singular en el espacio.

El testigo 'orientado' tiene una 'marca de orientación' a lo largo del testigo que marca la línea más baja o lo la línea más alta a lo largo de una perforación inclinado (denominada la 'marca inferior' o la 'marca superior', respectivamente).

El método de orientación de testigos está basado en una serie de definiciones de ángulos que caracterizan posiciones espaciales. En este proyecto se realizó con el dispositivo ACT2 Réflex, el cual es un dispositivo electrónico de orientación que se utiliza en la perforación diamantina diseñado para orientar en forma exacta y consistente, en terrenos blandos y quebrados, este orienta mientras se realiza la perforación, utiliza energía infrarroja, lo que significa que el controlador no se baja al pozo, utiliza tecnología de registro de tiempo eliminando el uso de cronómetros y el riesgo de error humano. (CARI, 2007)



Imagen 15: Dispositivo ACT2 Réflex. Orientando muestra en el tubo interior.
(Fuente del autor)



Imagen 16 : Nivelando guía para marcar línea de orientación al testigo.
(Fuente del autor)



Imagen 17 : Marcado de línea de orientación en testigo.
(Fuente del autor)

A continuación se incluyen las definiciones más relevantes a orientación en testigos.

Línea de Referencia “*top of core*” o Línea Superior. Se denomina así a una recta paralela al eje del sondaje, que marca el sector más alto del testigo. Esta recta se identifica con ayuda del orientador ACT Reflex del techo de roca del fondo del pozo. Esta línea se marca normalmente con un color o plumon a través de toda la corrida orientada.

Ángulo de Inclinación α (“*Dip*”). Es el ángulo entre el plano de discontinuidad y el eje del testigo

. Puede medirse fácilmente con ayuda de un goniómetro o protactor.

El ángulo 0° corresponde a discontinuidades paralelas al eje del sondaje y el ángulo de 90° corresponde a superficies perpendiculares al eje del sondaje.

Ángulo de Dirección de la Inclinación β (“*Dip Direction*”). Es el ángulo circunferencial comprendido entre la línea de referencia y la recta de máxima pendiente (o vector DIP máximo) de la discontinuidad. Con un protractor lineal se mide en el sentido de los punteros del reloj y mirando en la dirección de la perforación del sondaje. El ángulo de inclinación relacionado con la línea de referencia de orientación de los testigos se mide de 0° a 360° .



Imagen 18: Medición del ángulo de Inclinación α (“*Dip*”) mediante protactor.
(Fuente del autor)



Imagen 19 : Medición del ángulo de Dirección de la Inclinación β (“*Dip Direction*”)

El transportador lineal se envuelve firmemente alrededor del núcleo con 0° alineado en la línea de orientación. (Fuente del autor)

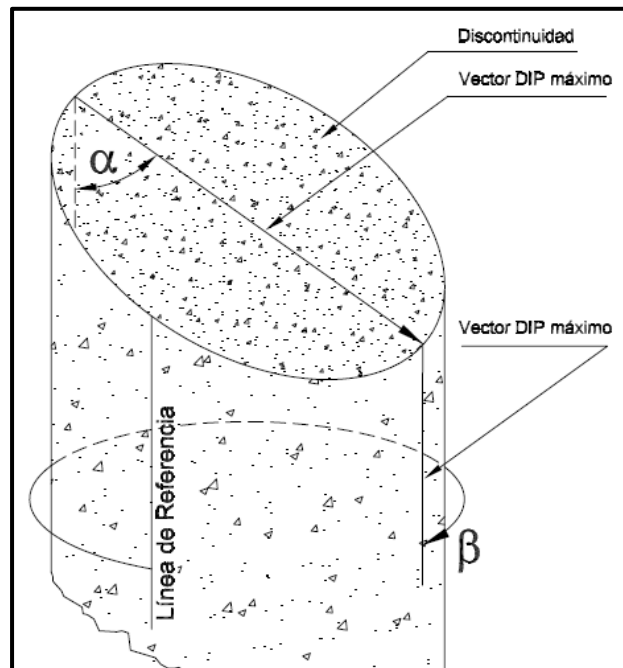


Imagen 20 : Ángulos DIP y DIP DIRECTION de los testigos de sondajes.

2.3.18. Clasificaciones Geomecánicas

Los macizos rocosos, como medios discontinuos, presentan un comportamiento geomecánico complejo que, de una forma simplificada, puede ser estudiado y categorizado en función de su aptitud para distintas aplicaciones. Con este objetivo surgieron las clasificaciones geomecánicas, que aportan, mediante la observación directa de las características de los macizos rocosos y la realización de sencillos ensayos, índices de calidad relacionados con los parámetros geomecánicos del macizo y sus características frente a los sostenimientos de túneles y taludes y la excavabilidad de las rocas, entre otros.

Las características de los macizos rocosos que se consideran en las distintas clasificaciones son las siguientes:

- Resistencia del material rocoso.
- índice RQD.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Orientación de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Estructura geológica y fallas.
- Filtraciones y presencia de agua.
- Estado tensional.

Las clasificaciones geomecánicas más utilizadas en la actualidad son la RMR y la Q. La primera se emplea tanto para la caracterización de los macizos rocosos y sus propiedades como para su aplicación en túneles. La clasificación Q se emplea casi exclusivamente para túneles.

2.3.19. Clasificación RMR

Desarrollada por Bieniawski en 1973, con actualizaciones en 1979 y 1989, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo y de

excavación y sostenimiento en túneles. Esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- Grado de fracturación en términos del RQD.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

La incidencia de estos parámetros en el comportamiento geomecánico de un macizo se expresa por medio del índice de calidad RMR, *rock mass rating*, que varía de 0 a 100.

Para aplicar la clasificación RMR se divide el macizo rocoso en zonas o tramos que presenten características geológicas más o menos uniformes de acuerdo con las observaciones hechas en campo, en las que se lleva a cabo la toma de datos y medidas referentes a las propiedades y características de la matriz rocosa y de las discontinuidades. Para calcular el índice RMR correspondiente a cada una de las zonas se sigue el procedimiento señalado en el Cuadro A

Una vez obtenidas las puntuaciones que resultan de aplicar los cinco parámetros de clasificación, se efectúa la corrección por orientación de discontinuidades y se obtiene un valor numérico con el que se clasifica finalmente el macizo rocoso. Esta clasificación distingue cinco clases, cuyo significado geotécnico se expresa en el Cuadro B; a cada clase de macizo se le asigna una calidad y unas características geotécnicas.

Así, un macizo rocoso clasificado como Muy Bueno (Clase I), será un macizo rocoso duro, poco fracturado, sin filtración importante y poco meteorizada, presentando muy pocos problemas frente a su estabilidad y resistencia. Se puede deducir que tendrá una capacidad portante alta, permitirá la excavación de taludes con altas pendientes y no precisará medidas de estabilización y refuerzo en túneles.

Tabla 12 : CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI PARA JUNTAS DEL MACISO ROCOSO (1989).

PARAMETROS			RANGO DE VALORES						
1	RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA MPa	Ensayo de Carga Puntual	>10	10 - 4	4 - 2	2 - 1	Para rangos bajos el ensayo de compresión uniaxial es preferido		
		Compresión Simple	>250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25 - 5	5 - 1	< 1
	VALORACION		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90 - 100%	75 - 90%	50 - 75%	25 - 50%	< 25%		
	VALORACION		20	17	13	6	3		
3	SEPARACION ENTRE DIACLASAS		> 2 m	0.6 - 2m	0.2 - 0.6m	0.06 - 0.2	< 0.06m		
	VALORACION		20	15	10	8	5		
4	LONGITUD DE LA DISCONTINUIDAD		< 1m	1 - 3m	3 - 10m	10 - 20m	> 20m		
	VALORACION		6	4	2	1	0		
	ABERTURA		Nada	< 0.1mm	0.1 - 1mm	1 - 5mm	>5mm		
	VALORACION		6	5	3	1	0		
	RUGOSIDAD		Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave		
	VALORACION		6	5	3	1	0		
	RELLENO		Nada	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno Blando <5mm	Relleno blando >5mm		
	VALORACION		6	4	2	2	0		
	ALTERACION		Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
	VALORACION		6	5	3	1	0		
5	AGUA FREÁTICA	Caudal por 10m de túnel	Nada	< 10 litros/min	10 - 25 litros/min	25 - 125 litros/min	> 125 litros/min		
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0 - 0.1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5		
		Condición General	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	VALORACION		15	10	7	4	0		

2.5 GLOSARIO DE TERMINOS

AFLORAMIENTO: formación rocosa aislada que en general destacan por sus cualidades paisajísticas. Son generalmente el resultado de la meteorización y la erosión que han ido esculpiendo la roca existente.

AGUA SUBTERRÁNEA: representa una fracción importante de la masa de agua presente en los continentes, y se aloja en los acuíferos bajo la superficie de la Tierra. El volumen del agua subterránea es mucho más importante que la masa de agua retenida en lagos o circulante, y aunque menor al de los mayores glaciares, las masas más extensas pueden alcanzar un millón o más de kilómetros cuadrados.

ALTERACIÓN: es un proceso geológico en donde sedimentos o rocas sufren los efectos de la circulación de fluidos de agua a altas temperaturas que son químicamente activos. La alteración hidrotermal afecta la composición mineral y la velocidad de ciertas reacciones.

ANÁLISIS CINEMÁTICO: es el análisis de la fábrica estructural del corte realizado para determinar si la orientación de las discontinuidades podría resultar en inestabilidad del talud bajo consideración, a lo cual conocemos como orientación desfavorable de este con respecto a las discontinuidades. Esta determinación es realizada por medio del análisis estereográfico.

ÁNGULO DE FRICCIÓN: es una propiedad de los materiales granulares el cual tiene una interpretación física sencilla, al estar relacionado con el ángulo de reposo o máximo ángulo posible para la pendiente de un conjunto de dicho material granular. En un material granuloso cualquiera, el ángulo de reposo está determinado por la fricción, la cohesión y la forma de las partículas pero en un material sin cohesión y donde las partículas son muy pequeñas en relación al tamaño del conjunto el ángulo de reposo coincide con el ángulo de rozamiento interno. Es especialmente importante en mecánica de suelos para determinar tanto la capacidad portante como la resistencia al deslizamiento de un terreno arenoso.

BUZAMIENTO: es el ángulo de inclinación comprendido entre el plano de la roca o estructura y el plano horizontal, es la línea de máxima pendiente de un estrato.

COBERTURA DE SUELO: material físico sobre la superficie terrestre, las coberturas del suelo incluyen hierba, asfalto, árboles, suelo desnudo, agua, etc.

COHESIÓN: cualidad por la cual las partículas se mantienen unidas en virtud de fuerzas internas, que dependen, entre otras cosas, del número de puntos de contacto que cada partícula tiene con sus vecinas. En consecuencia, la cohesión es mayor cuanto más finas son las partículas del terreno.

CONTACTO: (contacto litológico) línea que separa las rocas de naturaleza diferente, o dos unidades litológicas.

CUENCA: depresión en ciertas partes de la Tierra en las que se produce acumulación de sedimentos asociada a subsistencia litosférica.

CUARCITA: o metacuarcita es una roca metamórfica dura con alto contenido de cuarzo. En composición la mayoría de las cuarcitas llegan a ser más de 90 % de cuarzo y algunas incluso 99 %.El término cuarcita a menudo es usado erróneamente para designar a la cuarzoarenita u ortocuarcita, roca sedimentaria cementada con sílice que ha precipitado de aguas intersticiales durante su diagénesis.

DEPÓSITO CUATERNARIO: material constituido por una serie de depósitos de origen eólico, volcánico su aéreo, deluvial, coluvial y aluvial. La mayor parte de las áreas de afloramientos rocosos delimitado en el plano geológico, contiene una cubierta relativamente delgada (menor que 1 m de espesor) de material eólico y coluvial.

DEPÓSITO FLUVIOGLACIAR: deposito transportado por corrientes fluviales, pero que previamente fueron transportados por una masa glaciar en un trecho bastante considerable.

DEPÓSITO MORRENICO: material depositado y acumulado por los glaciares, se caracteriza por la gran heterogeneidad de sus fragmentos tanto en la forma como en el tamaño.

DISCONTINUIDAD: hace referencia a cualquier plano de separación en el macizo rocoso, pudiendo tener origen sedimentario, como las superficies de estratificación o laminación, diagenético o tectónico, como las diaclasas o las fallas.

DIORITA: es una roca plutónica compuesta por dos tercios de feldespatos del grupo de las plagioclasas y un tercio de minerales oscuros generalmente hornblenda, aunque pueden contener también biotita y a veces piroxeno. Si un magma diorítico alcanza la superficie, se forma una roca efusiva llamada andesita.

ENSAYO DE CARGA PUNTUAL PLT: Se utiliza para determinar la resistencia a compresión simple de fragmentos irregulares de roca o de testigos cilíndricos de sondeos, a partir del índice I_s obtenido en el ensayo. Los resultados son más fiables si se ensayan testigos. El ensayo no está indicado para rocas blandas o con anisotropía muy marcada (esquistos, pizarras, etc.). El procedimiento consiste en romper una muestra entre dos puntas cónicas metálicas accionadas por una prensa portátil. A partir de la carga de rotura se obtiene un índice, I_s , que puede ser correlacionado con la resistencia a compresión simple del material ensayado.

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL: ensayo representa las condiciones de las rocas in situ sometidas a esfuerzos confinantes, mediante la aplicación de presión hidráulica uniforme alrededor de la probeta. Permite determinar la envolvente o línea de resistencia del material rocoso ensayado, a partir de la que se obtienen los valores de sus parámetros resistentes cohesión y fricción.

ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL UCS: ensayo permite determinar en laboratorio la resistencia uniaxial no confinada de la roca, o resistencia a compresión simple y sus constantes elásticas: el módulo de Young, E , y coeficiente de Poisson, ν . Es, por tanto, un ensayo para la clasificación de la roca por su resistencia y para la determinación de su deformabilidad.

ENSAYO DE CORTE DIRECTO: trata de una caja rígida de acero, usualmente de sección cuadrada, que se encuentra dividida en dos mitades y en cuyo interior se coloca la muestra de suelo. Encima de esta se dispone una placa de reparto rígida sobre la que se puede aplicar una carga vertical.

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA: Consiste en medir la resistencia a tracción uniaxial de una probeta de roca indirectamente, asumiendo que la rotura se produce por tracción cuando la roca se somete a un estado de esfuerzos biaxial, con un esfuerzo principal traccional y otro compresivo de magnitud no superior a 3 veces el esfuerzo traccional. Se aplica una carga vertical compresiva sobre un disco o cilindro de roca, que se coloca en horizontal entre dos placas a través de las cuales se transmite la fuerza, hasta conseguir su rotura.

ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTANDAR SPT: se realiza en el interior de sondeos durante la perforación. Permite obtener un valor N de resistencia a la penetración que puede ser correlacionado con parámetros geotécnicos como la densidad relativa, el ángulo de rozamiento, la carga admisible y los asentos en los suelos granulares.

ESTEREOGRAMA: es una representación gráfica de objetos tridimensionales sobre un medio plano, por medio de sus proyecciones, valiéndose de la estereoscopia, de forma que aparentan tener volumen.

FALLA: desplazamiento de un bloque rocoso con respecto a otro a través de un plano denominado plano de falla.

FRACTURA: también llamado diaclasa o juntas que aparece en el cuerpo de una roca ocasionalmente producida por esfuerzos, presentando direcciones definidas.

GEOMECÁNICA: (procedente del prefijo griego geo- significando "tierra"; y "mecánica") implica el estudio geológico del comportamiento del suelo y rocas. Son las dos principales disciplinas de la geomecánica mecánica de

suelos y rocas. El primero trata del comportamiento de suelo desde pequeña escala a una escala de Talud. Este último se refiere a temas en ciencias de la tierra relacionados con la caracterización de masas de las rocas y de la mecánica de las rocas, como se aplica a la industria del petróleo o altas profundidades, diseño de túneles, rotura de las rocas, y los útiles de perforación. Muchos aspectos de la geomecánica se superponen con partes de la ingeniería geotécnica, y de la ingeniería geológica.

GONIÓMETRO: es un aparato en forma de semicírculo o círculo graduado en 180° o 360° , utilizado para medir o construir ángulos. Este instrumento permite medir ángulos entre dos objetos, tales como dos puntos de una costa, o un astro, generalmente el Sol, y el horizonte

HISTOGRAMA: es aquella representación gráfica de estadísticas de una variable en forma de barras, donde la superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados.

HORNFELS: tipo de roca metamórfica de contacto, muy dura, capaz de resistir la acción glacial, que se produce al hornearse y endurecerse por el calor de las masas ígneas intrusivas. La mayoría de los hornfels son de grano fino, y mientras que las

LITOLOGÍA: Ciencia que estudia el origen, evolución y clasificación de las rocas.

LOGUEO: testificación geológico-geotécnica que consiste en el registro y descripción de los testigos obtenidos de la perforación en sondeos mecánicos.

MACIZO ROCOSO: Es el medio in-situ que contiene diferentes tipos de discontinuidades como diaclasas, estratos, fallas y otros rasgos estructurales

MARMOL: es una roca metamórfica compacta formada a partir de rocas calizas que, sometidas a elevadas temperaturas y presiones, alcanzan un alto grado de

cristalización. El componente básico del mármol es el carbonato cálcico, cuyo contenido supera el 90 %; los demás componentes son los que dan gran variedad de colores en los mármoles y definen sus características físicas.

METAMORFISMO: proceso geológico mediante el cual las rocas sufren una serie de transformaciones en la composición mineralógica y/o textura convirtiéndose en rocas metamórficas. Mediante factores de presión y de temperatura, la circulación de fluidos químicamente activos, los esfuerzos y la composición inicial de la roca.

METEORIZACIÓN: Se llama meteorización a la descomposición de minerales y rocas que ocurre sobre o cerca de la superficie terrestre cuando estos materiales entran en contacto con la atmósfera, hidrosfera y la biosfera.

MODELO GEOLÓGICO: representa la distribución espacial de los materiales, estructuras tectónicas, datos geomorfológicos e hidrogeológicos, entre otros, presentes en el área de estudio y su entorno de influencia.

MODULO ELÁSTICO: es un tipo de constante elástica que involucra una medida relacionada con la tensión y una medida relacionada con la deformación. Los materiales elásticos isótropos quedan caracterizados por un módulo elástico y un coeficiente elástico (o razón entre dos deformaciones). Es decir, conocido el valor de uno de los módulos elásticos y del coeficiente de Poisson se pueden determinar los otros módulos elásticos. Los materiales anisótropos requieren un número de constantes elásticas mayor.

ORIENTACIÓN: discontinuidad en el espacio que está definida por su dirección de buzamiento y por su buzamiento.

PERFORACIÓN DIAMANTINA: Técnica de perforación o sondaje para obtener testigos rocosos, con el fin de explorar un yacimiento (leyes, tonelaje de mineral) y/o las características geomecánicas de la masa rocosa.

PLIEGUE: es una deformación de las rocas, generalmente sedimentarias, en la que elementos de carácter horizontal, como los estratos o los planos de esquistosidad (en el caso de rocas metamórficas), quedan curvados formando ondulaciones alargadas y de direcciones más o menos paralelas entre sí.

PÓRFIDO: Es una roca formada a partir de la solidificación del magma, es decir una masa fluida de origen tectónico a temperaturas muy elevadas en el interior de la corteza terrestre normalmente rica en silicio. Su enfriamiento comienza muy lentamente a profundidad, iniciando la solidificación del magma y la formación de cristales de cuarzo y feldespato entre otros minerales que se van quedando incrustados a la base, con abundante silicio.

RQD: rock quality designation, índice cuantitativo de la calidad de la roca, representa la relación entre la suma de las longitudes de los fragmentos de testigo mayores de 10 cm y la longitud total del tramo considerado

SKARN: Roca metamórfica de contacto y metasomático (calcáreo - ígneo) que da lugar a yacimientos económicos. Ejem. cobre, hierro, plomo, molibdeno, etc.

TALUD: superficie inclinada del terreno que se extiende de la base a la cumbre de un cerro, acumulada de fragmentos rocosos.

TAJO: se llaman minas a tajo abierto, y también minas a cielo abierto, a las explotaciones mineras que se desarrollan en la superficie del terreno.

TECTÓNICA: es la especialidad de la geología que estudia las estructuras geológicas producidas por deformación de la corteza terrestre, las que las rocas adquieren después de haberse formado, así como los procesos que las originan.

TELEVIEWER: instrumento que proporciona una imagen continua, detallada y orientada de las paredes de la perforación, lo que permite la determinación de la dimensión y orientación de fracturas, desprendimientos en la pared del sondeo y el campo de deformaciones.

TESTIGO DE ROCA: es una muestra cilíndrica de roca, que se obtiene mediante la perforación del sustrato a diferentes profundidades. El término core ("núcleo" en inglés) se traduce como testigo o, sencillamente, muestra.

TOPOGRAFIA: es la ciencia que estudia la representación gráfica de la superficie terrestre, con sus formas y detalle, tanto naturales como artificiales.

YACIMIENTO: Un yacimiento minero es aquel en el cual la calidad y cantidad de los minerales presentes justifica un mayor estudio, el cual tiene por objetivo definir en cantidad, calidad, profundidad y dimensión el yacimiento con el fin de desarrollar las actividades mineras para que la explotación del yacimiento sea económicamente rentable con las tecnologías actuales.

2.6 Hipótesis y variables

2.6.1 Hipótesis general

El presente estudio geotécnico podría determinar los sistemas de fallas principales, sistemas de discontinuidades y la caracterización del macizo rocoso, que puede afectar el laboreo minero en el proyecto Coroccohuayco por inestabilidad de taludes.

2.6.2 Hipótesis específicas

- La identificación litológica y una evaluación geomecánica del macizo rocoso nos darían una evaluación indicativa de la calidad de la roca.
- Un análisis estructural para la identificación de fallas y sistemas de discontinuidades mediante perforación con testigos orientados, se lograra determinar potenciales fallas controladas estructuralmente para cada tajo.
- El índice de resistencia de la roca mediante el logueo geotécnico y ensayos de laboratorio nos permitirá una evaluación por resistencia del macizo rocoso de los taludes del tajo.

2.6.3 Identificación de variables

- La variable independiente, son los riesgos de una estabilidad controlada estructuralmente para los taludes a través de estructuras mayores o sistemas de discontinuidades, donde estos riesgos tendrán que reducirse mediante estudios geotécnicos así realizar una actualización y mejoramiento del modelo geológico del tajo.

- La variable dependiente es el yacimiento Coroccohuayco que sería minado mediante una explotación mixta en tajo abierto y labores subterráneas, el cual necesita un estudio geotécnico para el diseño de taludes.

III. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del estudio y cumplir con los objetivos fue llevada mediante la siguiente metodología:

- Recopilación de información mediante la revisión de estudios geotécnicos anteriores.
- Trabajo de campo a través del estudio geotécnico y determinación de parámetros geomecánicos en perforación diamantina con testigos orientados.
- Ensayos de laboratorio, con las muestras alteradas se realizó ensayos de carga puntual, ensayo de compresión triaxial, ensayo de corte directo y ensayo de compresión simple.
- Trabajo de gabinete aquí se desarrolló el proceso de la evaluación cinemática de taludes, la determinación de los dominios geotécnicos y modelo estructural del tajo

3.1. Geometría del Tajo Planeado

El Proyecto Corocchohuayco será desarrollado en dos tajos: Norte y Sur.

El Tajo Norte tiene una configuración circular con una longitud mínima y máxima entre 760 m y 800m aproximadamente. El Tajo Sur tiene una forma elongada con una dirección aproximada de W-E. En su extremo más largo (W-E) tiene una longitud aproximada de 820 m y de 510 m en su extremo más corto (N-S)

Según el diseño preliminar del tajo Final, proporcionado por Antapaccay en agosto de 2016, la pared final de los tajos considera altura de bancos de 15 m y los ángulos de las caras de bancos de unos 63° en el macizo rocoso. El cuaternario fue asumido como siendo de espesor en torno de 5 m, sin embargo en la pared SO del Tajo Norte llega hasta los 25 m.

Descripción	Unidad	Descripción
Tajo Norte		
Elevación aproximada del tajo	m s.n.m.	3860 a 4090
Altura máxima aproximada (Desde la cresta al pie)	m	225
Ángulo Inter-rampa	grados	43 a 45
Altura de Banco	m	15
Ángulo de cara de banco	grados	63
Tajo Sur		
Elevación aproximada del tajo	m	3935 a 4090
Altura máxima aproximada (Desde la cresta al pie)	m	220
Ángulo Inter-rampa	grados	43 a 45
Altura de Banco	m	15
Ángulo de cara de banco	grados	63

Tabla 13: Configuración del Tajo Norte y Tajo sur.

3.2. Base topográfica para el Estudio y borde final de los tajos

La base topográfica para el estudio ha sido proporcionada por Antapaccay, con curvas de nivel cada 5 m. A partir de estas informaciones se ha elaborado una composición que muestra la topografía del terreno con el diseño de las paredes finales del tajo.

3.3. Investigaciones geológicas – geotécnicas

3.3.1. Mapeo Geológico

El mapa geológico del proyecto elaborado a partir del modelo geológico proporcionado por Antapaccay se muestra en el siguiente gráfico 1, el mismo que contiene también las fallas geológicas del área del proyecto según el Modelo Estructural. En este mapa se aprecia que los afloramientos están constituidos en la mayor parte por diorita y en menor medida por los pórfidos de monzonita hornblena y cuarzo. Los afloramientos de las rocas provenientes del metamorfismo de las rocas sedimentarias son escasos.

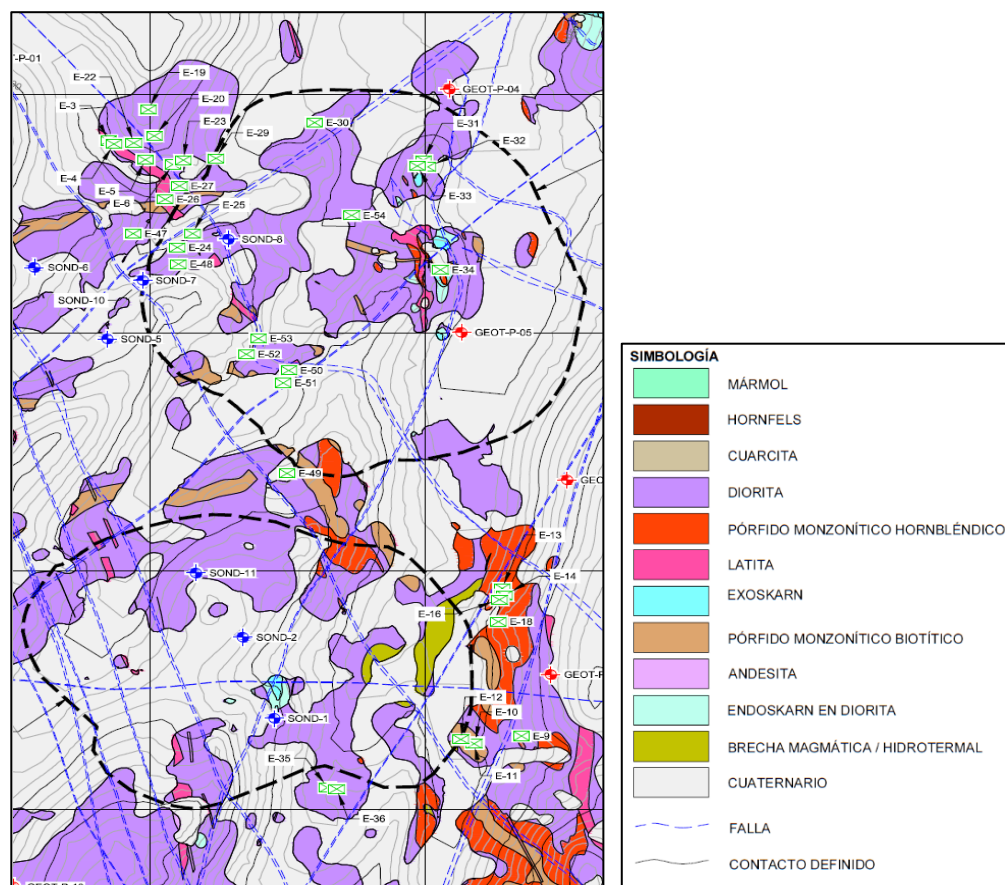


Gráfico 1 : Mapa geológico del área del proyecto a partir del modelo geológico de Antapaccay.

El mapeo de microestructuras geológicas ha sido efectuado por **Antapaccay** en 54 estaciones, 12 de ellas en el sector sur de área de estudio, y las restantes en el sector norte. El grafico 1 del informe principal también muestra la ubicación de las estaciones de registro de las microestructuras geológicas. En este grafico se observa que estas estaciones se han practicado en su gran mayoría en el ámbito del tajo Norte, y en particular hacia el sector noroeste de la huella de este tajo.

3.4. Unidades de Macizo Rocoso

El Modelo Geotécnico dividió el macizo rocoso del tajo en las siguientes unidades geotécnicas basadas en las principales unidades geológicas y con gran influencia en las paredes de los tajos finales propuestos:

Diorita

Pórfido Monzonítico Biotítico

Pórfido Monzonítico Hornbléndico

ExoSkarn

Mármol

EndoSkarn en Diorita

Otros (Hornfels, Cuarzita, Latita, Andesita)

3.5. Cobertura de Suelo

A pesar de que la mayoría de investigaciones no han sido ejecutadas dentro del perímetro de los tajos Norte y Sur, el espesor registrado en las perforaciones es muy variable y llega hasta los 24 m aproximadamente para ambos tajos.

El material de cobertura está constituido principalmente por depósitos morrénicos, aunque existe la ocurrencia de depósitos fluvioglaciales e Hidromorfos en menor proporción y en zonas específicas.

En algunas perforaciones se ejecutaron ensayos de resistencia insitu (SPT).

3.6. Perforaciones Diamantinas

La información de las perforaciones diamantinas ejecutadas en el ámbito del proyecto de los tajos abiertos del yacimiento se diferencia en tres grupos.

3.6.1. Perforaciones Geotécnicas del año 2011

En el año 2011, Antapaccay ejecuta 11 perforaciones diamantinas con recuperación continua de testigos (perforaciones identificadas con el prefijo GEOT- P-), con la finalidad de contar con información geotécnica para el diseño del tajo Coroccohuayco., dos de ellas (GEOT-P-04 y GEOT-P-05) fueron perforadas dentro de la huella del tajo Norte o muy cerca de ella, mientras que las nueve restantes están a más de 100 m de la huella de los tajos Norte y Sur.

Tabla 14 : Características de perforaciones campaña 2011.

Perforación	Este	Norte	Cota	Prof. (m)	Azimet (°)	Inclin. (°)	Testigos Orientados	Registro Televiewer	SPT
GEOT-P-01	256176.19	8346076.00	4092.68	310.35	14	-87	-	Sí	Sí
GEOT-P-02	256089.42	8345747.77	4130.97	246.65	-	-90	-	-	-
GEOT-P-03	256689.33	8346193.97	4068.54	300.00	-	-90	-	-	Sí
GEOT-P-04	257043.35	8346011.18	4041.59	300.20	-	-90	-	-	-
GEOT-P-05	257065.25	8345500.65	4048.18	209.55	-	-90	-	-	Sí
GEOT-P-06	257256.78	8345191.04	4089.03	300.00	309	-87	-	-	-
GEOT-P-07	257227.32	8344783.11	4105.03	300.15	271	-87	-	Sí	-
GEOT-P-08	257136.46	8344274.55	4110.60	350.05	-	-90	-	-	-
GEOT-P-09	256651.99	8344128.87	4126.06	293.30	-	-90	-	-	-
GEOT-P-10	256253.37	8344337.46	4141.05	300.00	310	-87	-	Sí	Sí
GEOT-P-11	256092.60	8345486.80	4123.70	300.35	293	-87	-	-	-

3.6.2. Perforaciones Geotécnicas del año 2014

Las perforaciones geotécnicas para el estudio geomecánico del minado subterráneo del proyecto Coroccohuayco, fueron 8.

Tabla 15 : Características de perforaciones campaña 2014

Perforación	Este	Norte	Cota	Prof. (m)	Azimet (N)	Inclin. (°)	Testigos Orientados	Registro Televiewer	SPT
SOND-1	256726.01	8344690.99	4102.61	461.70	-	-90	-	Sí	-
SOND-2	256668.96	8344861.09	4111.18	515.30	335	-70	Si	Sí	-
SOND-5	256423.24	8345486.91	4092.78	365.65	-	-90	-	Sí	-
SOND-6	256290.82	8345637.10	4104.85	384.80	-	-90	-	Sí	-
SOND-7	256486.55	8345609.67	4085.43	446.00	225	-70	Si	Sí	-
SOND-8	256642.79	8345696.24	4079.01	394.95	-	-90	-	Sí	-
SOND-10	256487.58	8345609.87	4085.50	436.85	105	-70	-	Sí	-
SOND-11	256584.00	8344996.06	4111.42	535.20	105	-90	-	-	-

Dentro de la huella del tajo Norte se tiene la perforación SOND-8, y en el borde oeste las perforaciones SOND-7 y SOND-10. Fuera de la huella y siempre en el sector oeste del tajo Norte, están los punto de perforación SOND-5 y SOND-6.

3.6.3. Perforaciones de Exploración de Recursos Minerales

Las perforaciones exploratorias por recursos minerales cuyos registros han sido evaluados e incorporados en el estudio geotécnico de los tajos del proyecto Coroccohuayco, son 68, con codificaciones TF1- (38 perforaciones), CORI- (20 perforaciones), CORO- (7 perforaciones) , CONV- (01 perforación), y dos perforación sin prefijo específico. Los registros de estas perforaciones consignan valores de RQD y Valuación RMR₈₉.

Registro Geofísico de perforaciones

Antapaccay ha proporcionado los informes de los registros televiwer de sensores acústicos y calíper ejecutados por Andes Servicios Geofísicos S.A de siete perforaciones geotécnicas de la campaña 2014. La perforación SOND-11 no cuenta con registro geofísico.

Además de los informes indicados en el párrafo anterior, fueron proporcionados los informes de los registros televiwer de las perforaciones de la campaña 2011: GEOT-P-01, GEOT-P-07 y GEOT-P-10, también elaborados por Andes Geofísicos. Los informes de Andes Geofísicos, contienen los estereogramas de polos, concentración de polos y diagrama de rosas para cada perforación, y en cada caso según la clasificación de estructuras.

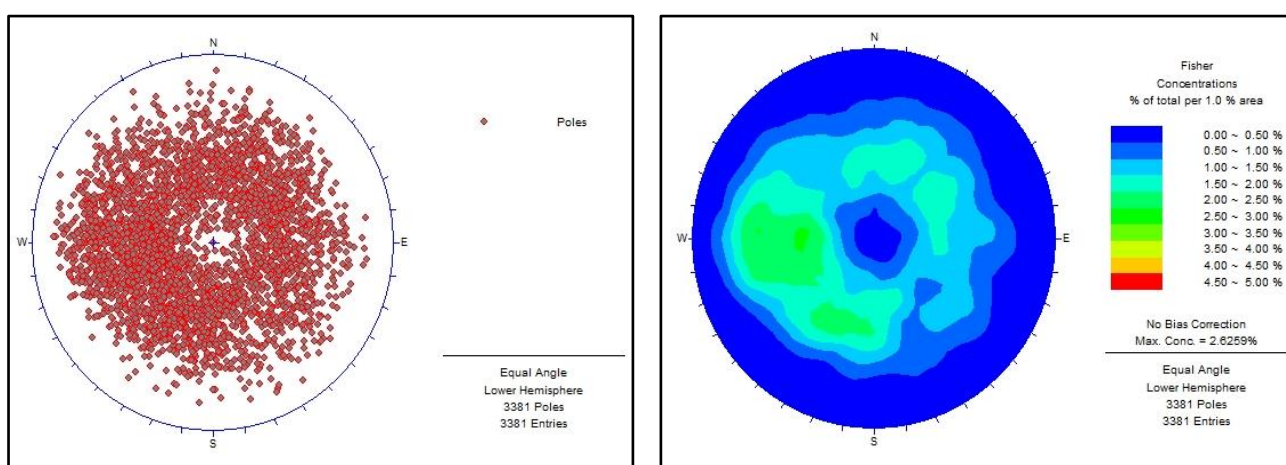


Gráfico 2 : Estereograma de polos y concentración de polos de la perforación SOND-5 (Andes Geofísicos, 2014).

Tabla 16 : Categorías de estructuras. Registros con televiewer acústico (Andes Geofísicos, 2012-2014).

Categoría 1	Estructuras discontinuas.
Categoría 2	Estructuras continuas (del registro se deduce que son estructuras cerradas o con abertura muy pequeña).
Categoría 3	Fallas y fracturas < 5 cm.
Categoría 4	Fallas > 5 cm

3.7. Ensayos de Laboratorio

Muestras seleccionadas de las perforaciones geotécnicas ejecutadas los años 2011 y 2014 fueron motivo de ensayos de laboratorio. En la siguiente (Tabla 16) se resume las cantidades por perforación y tipos de ensayo.

Tabla 17 : Resumen de cantidades de ensayos de laboratorio.

Perforación	Ensayos Laboratorio						
	PLT	UCS	Triaxial	Corte Directo	Prop. Físicas	Mod. Elástico	Tracción
GEOT-P-01	112	56	2	5	0	7	10
GEOT-P-02	100	80	5	23	0	0	3
GEOT-P-03	76	14	0	6	0	0	0
GEOT-P-04	119	18	0	1	0	0	2
GEOT-P-05	58	12	1	0	0	0	0
GEOT-P-06	117	23	0	13	0	0	6
GEOT-P-07	224	22	1	15	19	1	4
GEOT-P-08	103	26	1	17	5	0	1
GEOT-P-09	119	21	1	3	0	0	0
GEOT-P-10	115	71	0	17	20	0	0
GEOT-P-11	131	16	6	3	15	0	12
SOND-1	8	2	0	0	0	0	0
SOND-2	0	1	9	1	1	1	0
SOND-5	25	0	0	0	0	0	0
SOND-6	25	0	0	0	0	0	0
SOND-7	0	12	18	2	2	2	3
SOND-8	39	0	0	0	0	0	0
SOND-10	0	2	18	2	2	2	6
SOND-11	0	4	36	4	4	4	12
Total	1371	380	98	112	68	17	59

3.8. Modelo Geológico

En resumen, el modelo geológico considera a un cuerpo diorítico emplazado de manera sub horizontal en rocas calcáreas de la formación Ferrobamba, que en parte han sido metamorfizadas, dando lugar a mármol, skarns, hornfels y magnetita hidrotermal, y en parte digeridos por el cuerpo magmático. De manera subsecuente se han dado pulsaciones magmáticas. La primera, episodio que tiene relación con la mineralización, denominada Pórfido Monzonítico Hornblenda, y la segunda, de pórfido monzonítico cuarcífero. A estas secuencias atraviesan diques de poco espesor, de naturaleza andesítica y aplítica.

Tabla 18 : Unidades litológicas y nomenclaturas del modelo geológico del yacimiento Coroccohuayco.

Código Modelo	Litología Modelo	Código Modelo	Litología Modelo
50	Cuarcita	58	Andesita
49	Hornfels	61	EndoSkarn en Diorita
42	Mármol	71	ExoSkarn
51	Diorita	44	Mármol con Calcosilicatos
52	Pórfido Monzonítico Hornbléndico	81	ExoSkarn Seco
78	Brecha Magmática/Hidrotermal	99	Cuaternario
54	Pórfido Monzonítico Biotítico	60	Fallas
56	Latita		

El contacto entre las unidades, de acuerdo con la revisión de los testigos de las perforaciones, no siempre es definido, y es frecuente que la roca está debilitada por la alteración hidrotermal, hecho que se ha podido verificar en terreno



Imagen 21 : Testigos de perforación.

Se observa que el contacto entre unidades litológicas no es claramente definido. Monzonita-Skarn a 165.15 m y skarn-mármol a 166.75 m (Antapaccay, 2011). Los depósitos cuaternarios cubren gran parte de la huella de los tajos Norte y Sur, y están constituidos mayoritariamente por depósitos morrénicos, algo de coluvios y depósitos fluvioglaciales en el fondo del lecho de las quebradas. Los dos primeros, en conjunto, no sobrepasan los 6 m de espesor en el ámbito de la huella de los tajos, de acuerdo con los registros de las perforaciones. Un caso singular muestra las fotografías de los testigos de la perforación SOND-2, que en el tramo 0.80 – 14.80 m ha atravesado relictos de depósitos morrénicos de significativo espesor, a modo de un hecho aislado.

Otro aspecto que cabe resaltar es que las dioritas, en particular en el tajo Sur están meteorizadas en los 20 a 30 m debajo del contacto suelo – roca, aspecto que debe considerarse en la zonificación geotécnica, por cuanto en este tramo la calidad del macizo notoriamente es de menor calidad que en profundidad.

En la imagen 22 se muestra la variación de la calidad de la diorita con la profundidad. El contacto suelo-roca en la perforación SOND-2 está a los 14.8 m de profundidad, seguido de diorita muy meteorizada, condición que va cambiando progresivamente, hasta que se define la roca poco meteorizada a fresca, alrededor de los 45 m de profundidad.



Imagen 22 : Contacto entre morrena y diorita a los 14.80 m y variación del grado de meteorización de la diorita con la profundidad.

3.9. Modelo Estructural

El informe técnico “Modelo Estructural del Yacimiento de Corocchohuayco”, toma como base el cartografiado estructural de área del proyecto, así como los registros de perforación y las fotografías de las cajas de testigos de perforación del proyecto Corocchohuayco, se concluye que las fallas principales tienen dirección NW-SE, y de manera subordinada, y no menos importante, NE-SW y N-S, y que las fallas con exposición en superficie tienen buzamiento de alto ángulo. Las fallas inversas, de menor significado que las anteriores, son inferidas como de bajo ángulo y no se manifiestan en superficie.

Todas las fallas son post mineralización, y no se tiene un patrón establecido para las fallas NW-SE y NE-SW. El informe antes mencionado también concluye en que las fallas E-W desplazan a estos dos sistemas.

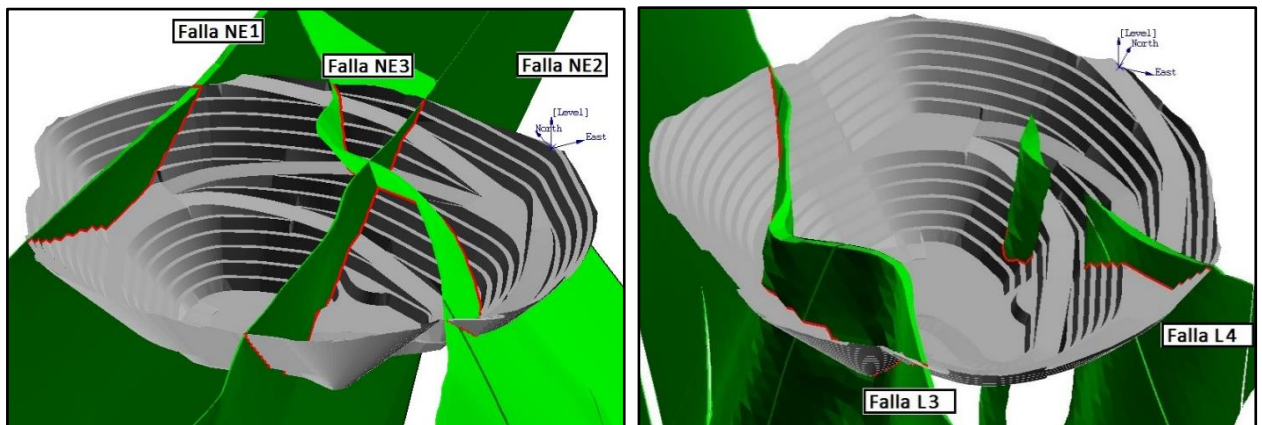


Gráfico 3 : A la izquierda, vista NE del tajo Norte, donde se aprecian las fallas NE1, NE2 y NE3. A la derecha, vista NW del tajo Norte, en las que se aprecian las fallas L3 y L4.

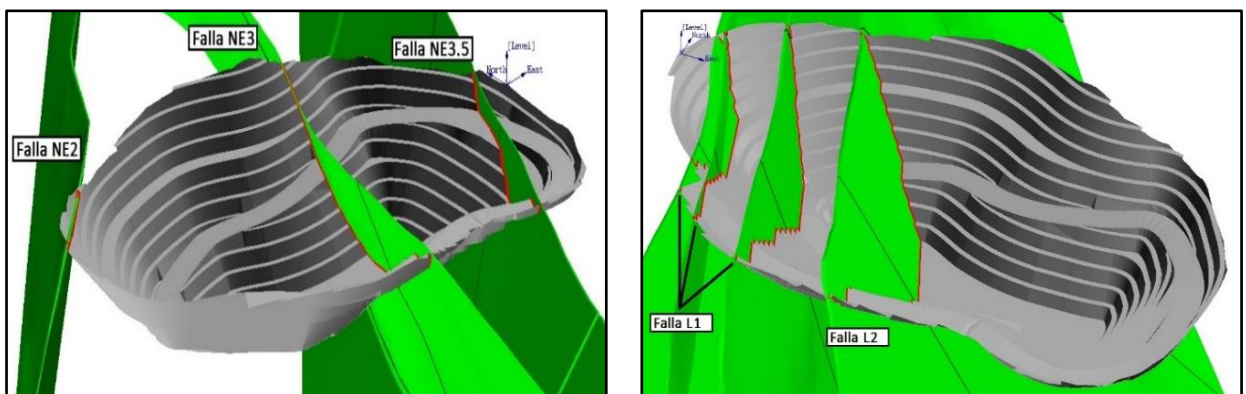


Gráfico 4 : A la izquierda, vista NE del tajo Sur, donde se aprecian las fallas NE2, NE3 y NE3.5, y a la derecha, vista NW del tajo Sur, en las que se aprecian las fallas L1 y L2.

ÍNDICE DE RESISTENCIA DE LA ROCA EN CAMPO

La estimación del índice de resistencia de la roca (R) se llevó a cabo durante el logueo geotécnico realizado Antapaccay, para un total de aproximadamente 6574 metros de testigos de roca (Diorita, Pórfido Monzonítico Biotítico, Pórfido Monzonítico Hornbléndico, ExoSkarn, Mármol, etc) fue logueado. La tabla 19 presenta la distribución de longitud total de testigos de roca y el índice de resistencia estimado por cada unidad.

Tabla 19 : Índice de Resistencia estimada en campo por cada Unidad Litológica

Unidad Litológica	R (promedio)	Rango	Descripción	Longitud Interceptada (m)	Porcentaje (%)
Diorita	R4	R3 a R5	Medianamente Resistente a Muy Resistente	3128.1	47.6
Pórfido Monz B	R4	R3 a R4	Medianamente Resistente a Resistente	844.1	12.8
Pórfido Monz Hb	R3	R3 a R4	Medianamente Resistente a Resistente	663.37	10.1
ExoSkarn	R4	R3 a R5	Medianamente Resistente a Muy Resistente	700.76	10.7
Mármol	R3	R3 a R4	Medianamente Resistente a Resistente	403.44	6.1
EndoSkarn Diorita	R3	R3 a R5	Medianamente Resistente a Muy Resistente	329.12	5.0
Hornfels	R3	R3 a R4	Medianamente Resistente a Resistente	260.75	4.0
Latita	R3	R3 a R4	Medianamente Resistente a Resistente	202.5	3.1
Cuarcita	R3	R3 a R4	Medianamente Resistente a Resistente	26.65	0.4
Andesita	R3	R3 a R5	Medianamente Resistente a Muy Resistente	15.2	0.2
Total (m)				6573.99 m	100 %

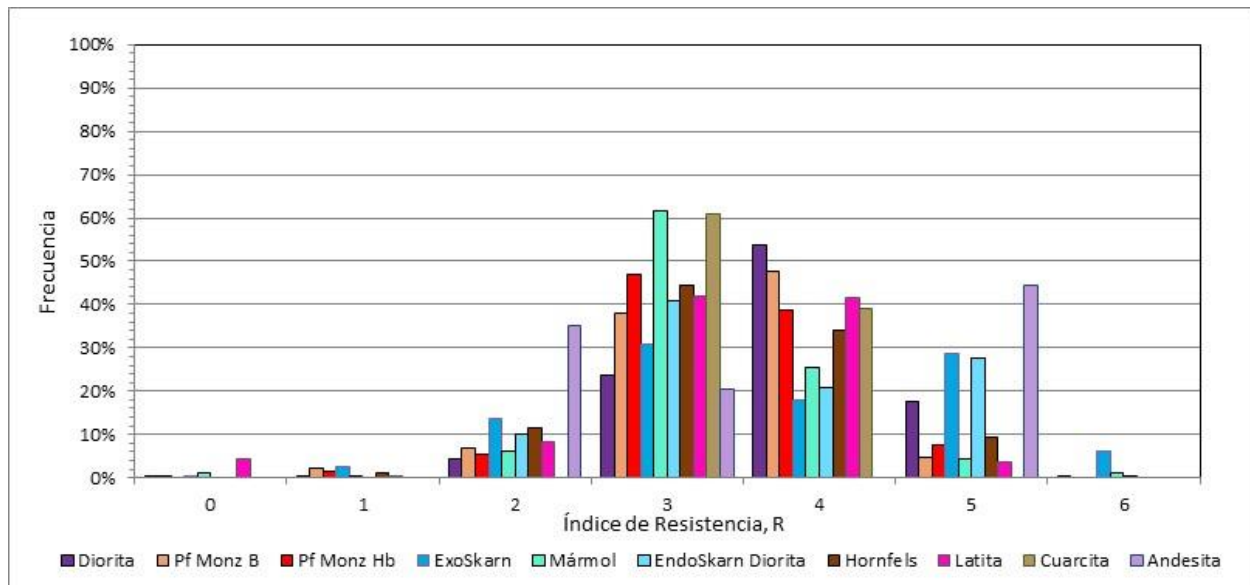


Gráfico 5: Histograma de los índices de resistencia por cada Unidad Litológica. De la tabla 19 se desprende que la mayoría de unidades litológicas, incluyendo la Diorita, tienen un índice de resistencia de campo entre R3 y R5 (25 a 250 MPa). Cabe mencionar que de acuerdo a lo observado en la visita técnica y en las fotos de cajas de testigos, los valores menores a R3 corresponden a zonas de cizalla o alteradas hidrotermalmente, los cuales no han sido correctamente definidos en el registro geotécnico.

RESISTENCIA A LA CARGA PUNTUAL

El ensayo de carga puntual (PLT) ha sido desarrollado en las campañas de investigaciones de Antapaccay. En todos los casos se registraron la profundidad, longitud y diámetro del espécimen. Únicamente han sido ejecutados ensayos diametrales.

Se ha empleado los datos factuales (P) para el cálculo del índice de resistencia. El índice de resistencia para el ensayo PLT es reportado en términos de su índice de resistencia a la carga puntual (I_s), el cual es corregido respecto al diámetro estándar equivalente de 50 mm para calcular el $I_{s(50)}$.

El valor corregido del Índice de Resistencia de Carga Puntual ($I_{s(50)}$) es derivado de la siguiente relación:

$$I_{s(50)} = \left(\frac{De}{50} \right)^{0.45} \times \frac{P}{De^2}$$

Donde:

De es el “diámetro equivalente del testigo”; y

P es la carga aplicada hasta la rotura del espécimen.

Para ensayos diametrales, el diámetro equivalente del testigo (De) es igual al diámetro de la muestra (D).

Se han realizado un total de 1371 ensayos de carga puntual diametrales, de los cuales 818 ensayos han sido registrados como rotura por la matriz.

El **Gráfico 6** presenta la variación de los valores de Is_{50} con la profundidad del testigo según la unidad litológica. A pesar de la gran dispersión de los resultados, se puede observar que, de una manera general, la resistencia no tiende a variar con la profundidad para una misma litología. Además se concluye que la Diorita y el Pórfido Monzonítico (Biotítico y Hornbléndico) son las unidades con mayor dispersión de valores, esto debido posiblemente a la relación con alteraciones hidrotermales que degradan la resistencia de las unidades de roca.

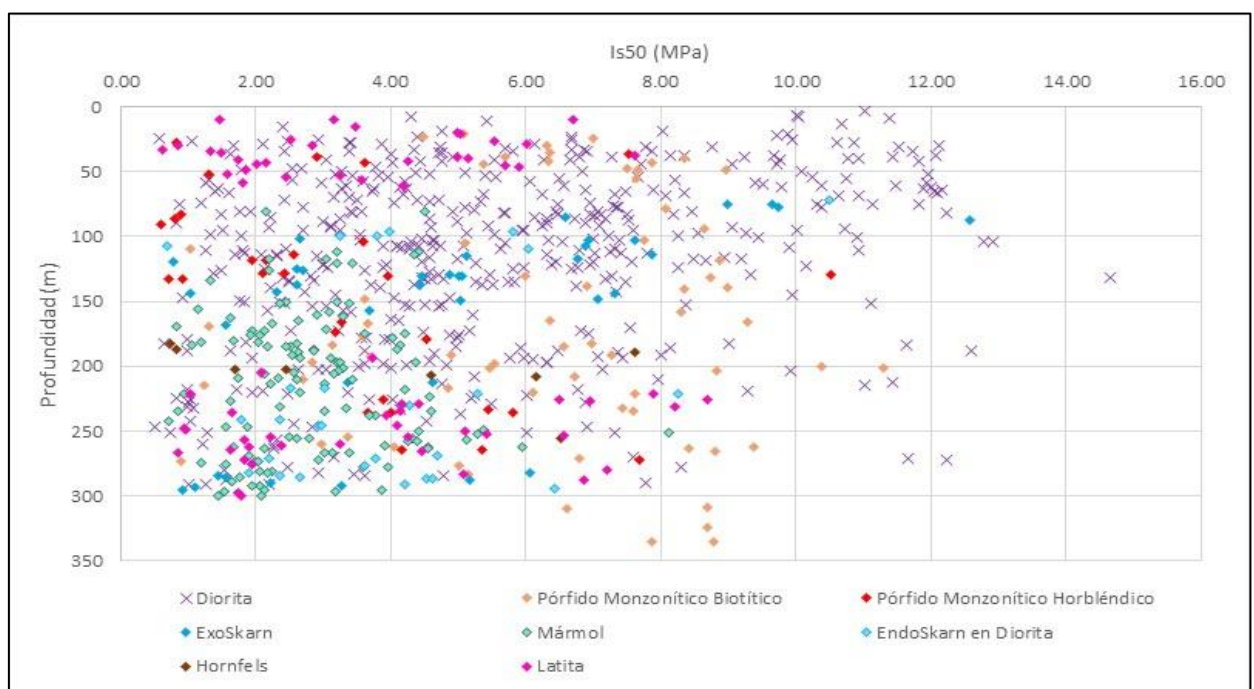


Gráfico 6: Dispersión de valores de Is_{50} vs profundidad por cada unidad litológica.

Sin embargo, cabe indicar que para los análisis estadísticos, no se han tomado en cuenta los ensayos de carga puntual con $Is_{50} < 0.5$ MPa, ya que se considera que estos no son resultados confiables en este tipo de ensayo por la baja resistencia de la roca. La tabla 20 resume los valores promedios Is_{50} para cada unidad litológica.

Tabla 20 : Resumen de valores Is_{50} por Unidad Litológica

Litología	Is_{50} MPa				
	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación Estándar	Cantidad
Diorita	0.5	14.7	5.6	3.0	442
Pórfido Monzonítico Biotítico	0.9	11.3	6.3	2.4	68
Pórfido Monzonítico Horbléndico	0.6	10.5	3.5	2.4	29
ExoSkarn	0.8	12.6	4.7	2.9	39
Mármol	0.7	8.1	2.9	1.2	118
EndoSkarn en Diorita	0.7	10.5	4.0	2.1	28
Hornfels	0.7	7.6	3.8	2.7	8
Latita	0.6	8.7	3.7	2.1	65

3.10. ENSAYOS DE LABORATORIO

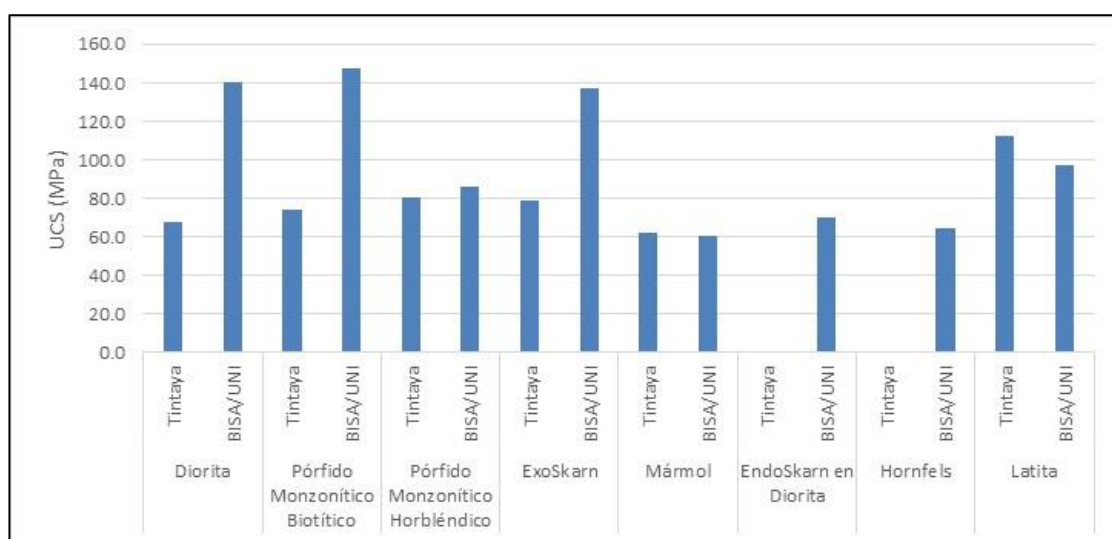
Un total de setecientos treinta y cuatro (734) muestras de testigos de roca fueron ensayadas en los laboratorios de Tintaya y la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Los ensayos de resistencia realizados incluyen ensayos de compresión uniaxial o UCS (380 ensayos), propiedades físicas (68 ensayos), propiedades elásticas (17 ensayos), resistencia a la compresión triaxial (22 ensayos), resistencia a la tracción indirecta (59 ensayos) y resistencia al corte directo en discontinuidades (112 ensayos).

Resultados de Ensayos de Resistencia a la Compresión Uniaxial (UCS)

Para la determinación de la resistencia a la compresión uniaxial, se han considerado los resultados de ensayos ejecutados en el laboratorio de mina (Tintaya), y ejecutados en el laboratorio de la UNI . Estos resultados han sido diferenciados por tipo de laboratorio determinando sus respectivos promedios.

Tabla 21 : Resultados de Resistencia a la Compresión Uniaxial (proporcionado por Antapaccay)

Unidad Litológica	Fuente	Mínimo (MPa)	Máximo (MPa)	Promedio (MPa)	Desv. St.
Diorita	Tintaya	9.9	185.7	67.2	39.0
	UNI	57.4	284.7	140.4	65.5
Pórfido Monzonítico Biotítico	Tintaya	44.4	119.3	74.0	23.2
	UNI	121.1	187.1	147.1	26.5
Pórfido Monzonítico Horbléndico	Tintaya	30.3	137.7	80.2	40.8
	UNI	31.9	160.7	86.2	42.8
ExoSkarn	Tintaya	0.0	185.3	78.7	66.6
	UNI	63.1	259.1	137.3	73.5
Mármol	Tintaya	24.1	160.0	61.8	32.8
	UNI	50.6	72.2	60.3	8.2
EndoSkarn en Diorita	Tintaya	-	-	-	-
	UNI	60.7	80.0	70.3	13.6
Hornfels	Tintaya	-	-	-	-
	UNI	52.3	75.2	64.1	11.5
Latita	Tintaya	112.6	112.6	112.6	0.0
	UNI	74.5	127.8	97.3	21.8

**Gráfico 7** : Valores UCS promedio por tipo litológico (Antapaccay)

El **Gráfico 7**, así como la tabla 20, muestra los valores promedios de cada unidad litológica diferenciada por la fuente de información (Tintaya), lo que refleja un fuerte divorcio en el valor promedio de la resistencia a la compresión uniaxial para las unidades Diorita, Pórfido Monzonítico Biotítico y ExoSkarn; los cuales representan las litologías predominantes en el tajo y que corresponderían a las paredes de la huella final del tajo Coroccohuayco.

En consecuencia, para el análisis de resistencia a la compresión uniaxial sólo se ha considerado los resultados de las muestras que correspondan a las perforaciones dentro de la huella de los tajos. La tabla 22 resume los valores de resistencia a la compresión uniaxial para los tipos litológicos, diferenciados por tajo Norte y Sur, donde se han descartado los valores anómalos (o de gran dispersión).

Tabla 22 : Resultados de Resistencia de Compresión Uniaxial (información de Tintaya)

Litología	UCS (MPa)	
	Tajo Norte	Tajo Sur
Diorita	140	122
Pórfido Monzonítico Biotítico	-	-
Pórfido Monzonítico Hornbléndico	85	85
ExoSkarn	138	137
Mármol	83	-
EndoSkarn en Diorita	80	60
Otros (Hornfels, Latita, etc)	80	60

3.11. Relación Is_{50} vs UCS

El ISRM (1981) indica que los valores de UCS normalmente están relacionados con los valores del índice de carga puntual Is_{50} para una unidad de roca determinada según la siguiente relación:

$$UCS_{(50)} = Is_{(50)} \times K$$

Donde K es el factor de correlación que típicamente se encuentra en un rango de 10 a 25, dependiendo del tipo de roca. El factor de correlación fue obtenido también a través de la interpolación lineal de los resultados de $Is_{(50)}$ y UCS, considerando la proximidad en las profundidades de estos ensayos (provenientes de toda la data disponible del proyecto Corocchohuayco), para las unidades Diorita, Pórfido Monzonítico Biotítico, ExoSkarn y Mármol. Esta correlación deberá ser revisada en cuanto haya nueva información disponible referida a los tajos Norte y Sur del Proyecto Corocchohuayco.

Las interpolaciones lineales (**Gráfico 8**) sugieren un factor de correlación $K \cong 17$ como el más representativo para el Mármol, $K \cong 15$ para el ExoSkarn, $K \cong 14$ para la Diorita y $K \cong 13$ para el Pórfido Monzonítico Biotítico.

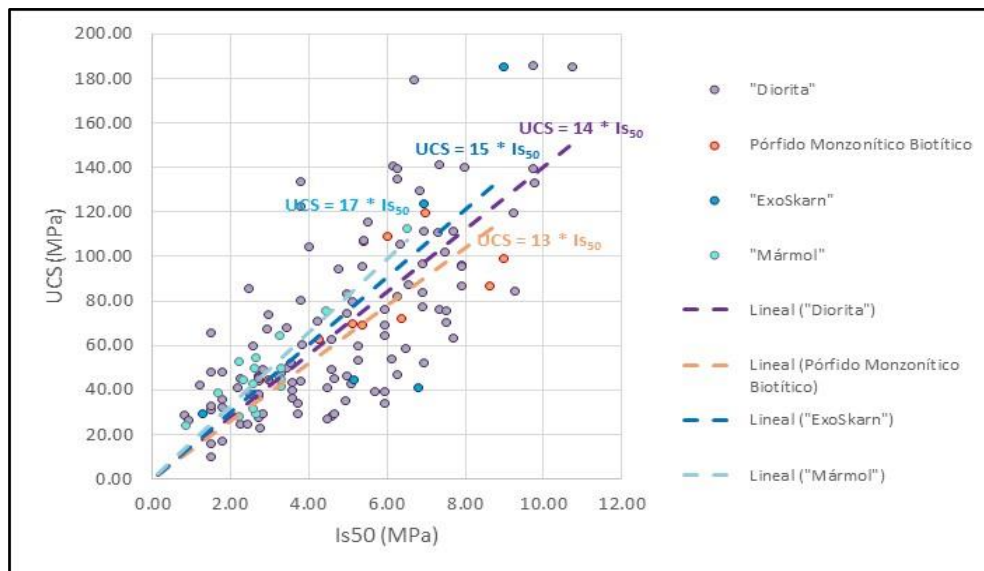


Gráfico 8 : Correlación de valores Is_{50} vs UCS

La tabla 23 resume los factores de correlación calculados para las mayores unidades de roca en el presente proyecto.

Tabla 23 : Valores de Factor de correlación, K.

Unidad Litológica	UCS _(Lab) promedio (MPa)	IS ₍₅₀₎ promedio (MPa)	Factor de Correlación, K *
Diorita	142.7	5.6	14
Pórfido Monzonítico Biotítico	147.1	6.3	13
ExoSkarn	121.4	4.7	15
Mármol	60.3	2.9	17

Nota: * Valor de Correlación (K) obtenido mediante interpolación.

Para los análisis de resistencia se empleó un factor de correlación equivalente de K=15.

Resultados de Resistencia a la Tracción Indirecta y Módulos Elásticos

. La resistencia a la tracción indirecta tiene los valores más altos en la Diorita, Latita y Mármol, con valores de 10.8 MPa, 9.4 MPa y 7.6 MPa, respectivamente.

Tabla 24 Resultados de Ensayos de Resistencia a la Tracción Indirecta

Litología	Resistencia a la Tracción Indirecta (MPa)			N° de Ensayos
	Mínimo	Máximo	Promedio ± Desv. Est.	
Diorita	5.1	15.6	10.8 ± 3.4	25
Pórfido Monzonítico Biotítico	4.7	12.8	7.1 ± 3.8	4
Pórfido Monzonítico Hornbléndico	3.5	8.6	6.2 ± 2.4	7
ExoSkarn	2.8	16.3	6.0 ± 4.3	8
Mármol	3.7	9.4	7.6 ± 2.6	4
EndoSkarn en Diorita	5.4	6.5	5.8 ± 0.6	3
Hornfels	3.7	8.5	5.2 ± 2.3	4
Latita	7.7	11.4	5.4 ± 1.5	4

La tabla 25 resume los valores de las propiedades elásticas de las muestras ensayadas, además muestra los valores promedios y desviación estándar del módulos de Young y Poisson para cada unidad litológica.

Tabla 25: Resultados de Propiedades Elásticas por Unidad Litológica

Unidad Litológica	Lab ID	Perforación ID	Intervalo (m)		Young (GPa)	Poisson	Promedio	
			De	A			Young (GPa)	Poisson
Diorita	UNI	GEOT-P-01	56.6	57.4	11.3	0.29	18.7 ± 11.6	0.26 ± 0.04
	UNI	GEOT-P-01	58.4	59.1	10.0	0.29		
	UNI	SOND-7	64.1	64.5	32.1	0.22		
	UNI	GEOT-P-01	105.7	106.4	8.1	0.30		
	UNI	SOND-11	123.2	123.5	35.4	0.21		
	UNI	GEOT-P-01	177.6	178.1	7.0	0.31		
	UNI	SOND-10	184.5	184.9	32.9	0.20		
	UNI	GEOT-P-01	209.0	209.7	12.9	0.29		
Pórfido Monzonítico Hornbléndico	UNI	SOND-7	282.1	282.3	25.8	0.25	25.8	0.25
ExoSkarn	UNI	SOND-11	303.1	303.8	22.6	0.23	24.5 ± 4.4	0.24 ± 0.01
	UNI	SOND-10	316.7	317.1	30.6	0.24		
	UNI	SOND-2	336.2	336.7	20.2	0.25		
Mármol	UNI	GEOT-P-01	197.9	198.6	7.5	0.31	7.5	0.31
EndoSKarn en Diorita	UNI	SOND-11	233.7	234.2	16.8	0.25	16.8	0.25
Hornfels	UNI	GEOT-P-01	207.4	208.4	8.0	0.31	12.6 ± 4.7	0.27 ± 0.04
	UNI	SOND-11	446.1	446.3	17.3	0.23		
Latita	UNI	GEOT-P-07	274.6	274.9	8.0	0.31	8.0	0.31

Resultados de Resistencia a la Compresión Triaxial

Un total de veintidos (22) ensayos de compresión triaxial fueron realizados, durante las campañas de investigaciones, en muestras seleccionadas con presiones de confinamiento entre 1 y 9 MPa. Las muestras se ensayaron en las principales unidades de roca con el fin de evaluar sus características de falla con el incremento de confinamiento, como se muestra en el **La talba 26**. muestra la media y la desviación estándar del esfuerzo principal (σ_1) para la presión de confinamiento dada (σ_3).

Tabla 26 : Resultados de Ensayos de Compresión Triaxial

Unidad Litológica	σ_3 Promedio (MPa)	σ_1 Promedio (MPa)
Diorita	1	111.9 \pm 24.2
	2	163.4 \pm 35.8
	3	137.8 \pm 10.0
	4	183.2 \pm 43.3
	5	150.7 \pm 3.3
	6	195.3 \pm 51.5
	7	172.7 \pm 36.0
	8	198.5 \pm 35.0
	9	190.4 \pm 22.7
ExoSkarn	1	108.8 \pm 31.7
	2	111.0 \pm 29.2
	3	115.4 \pm 27.0
	4	133.3 \pm 24.5
	5	110.1 \pm 35.5
	6	111.1 \pm 30.5
	7	143.8 \pm 29.5
	8	154.4 \pm 30.0
	9	178.1 \pm 34.6
Mármol	2	108.0
	4	121.0
	6	132.6
EndoSkarn en Diorita	1	115.5
	2	109.9
	3	107.3
	4	138.0
	5	111.7
	6	173.9
	7	151.3
	8	163.9
	9	155.3
Hornfels	1	65.5
	2	78.6
	3	80.6
	4	79.9
	5	85.7
	6	104.8
	7	107.1
	8	119.5
	9	125.1
Pórfido Monzonítico Hornbléndico	1	68.2
	2	62.8
	3	50.4
	4	60.4
	5	74.2
	6	86.7
	7	98.4
	8	105.2
	9	94.2

Resultados de Resistencia al Corte Directo en Discontinuidades

Se realizó un total de ciento doce (112) ensayos de corte directo en discontinuidades, entre naturales y simuladas, de muestras obtenidas de las diferentes perforaciones realizadas durante las investigaciones geotécnicas .

De esta información sólo nueve (9) ensayos presentan sus respectivos reportes donde registraron los esfuerzos normales y de corte correspondientes; además están diferenciados por tipo de discontinuidad ensayada (natural o simulada). Los **Gráfico 9 y 10** muestra las envolventes de resistencia al corte directo para las unidades litológicas disponibles, en discontinuidades naturales y simuladas respectivamente.

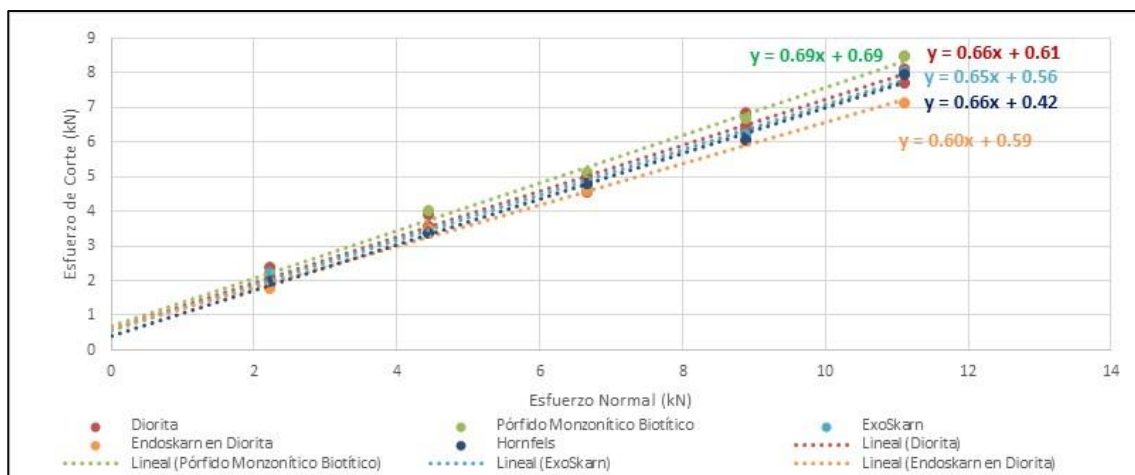


Gráfico 9: Envolventes de ensayos de corte directo en discontinuidades naturales por unidad (Antapaccay, 2014)

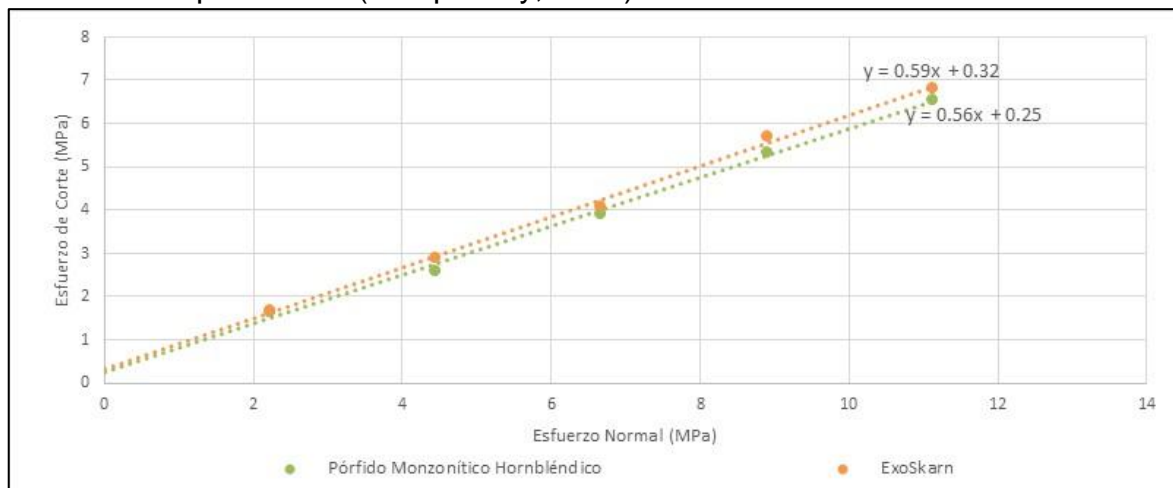


Gráfico 10: Envolventes de ensayos de corte directo en discontinuidades simuladas por unidad (Antapaccay)

Tabla 27 : Resultados de Resistencia al Corte Directo en Discontinuidades valores promedio y desviación estándar. (Antapaccay, 2014)

Unidad Lito	ϕ (°)				C (MPa)				N° Ensayos
	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv. Est	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv. Est	
Diorita	28	43	34	4	0.0	0.7	0.2	0.1	62
Pf Monz B	28	39	33	4	0.1	1.5	0.4	0.4	18
Pf Monz H	27	45	32	5	0.1	0.8	0.2	0.2	11
ExoSkarn	30	33	32	2	0.1	0.2	0.1	0.0	2
Mármol	26	38	32	3	0.1	1.3	0.4	0.4	10
EndoSkarn	31	37	34	4	0.1	0.9	0.5	0.5	2
Hornfels	33	33	33	0	0.1	0.1	0.1	0.0	1
Latita	30	31	31	0	0.1	0.1	0.1	0.0	6

3.12. ENVOLVENTES DE RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA

Los resultados de laboratorio proporcionados por Antapaccay correspondientes a ensayos de compresión triaxial, compresión uniaxial y resistencia a la tracción, fueron agrupados por tipo de roca, para obtener las envolventes de resistencia siguiendo el criterio de falla de Hoek-Brown (H-B) (Hoek et al., 2002). Se eliminaron valores muy altos o muy bajos de los resultados, y solo algunos resultados de los ensayos fueron considerados en los análisis, para completar los datos de la envolvente donde fue necesario.

Tabla 28 : Resumen de Parámetros de Resistencia de la Roca Intacta por Unidad para el Tajo Norte

Unidad	σ_{ci} (MPa)		m_i	
	Tajo Norte	Tajo Sur	Tajo Norte	Tajo Sur
Diorita	140	122	12	16
Pórfido Monzonita Biotítico	-	-	8	-
Pórfido Monzonita Horbléndico	85	85	8	8
ExoSkarn	138	137	14	13
Mármol	83	-	13	-
EndoSkarn Diorita	80	60	19	19
Otros	80	60	8	8

IV. DESARROLLO

4.1. CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO

Los tajos que componen el proyecto Coroccohuayco son el Tajo Norte y Tajo Sur. Las litologías presentes proyectadas en las paredes finales de estos tajos abiertos son las que se muestran en el **Gráfico 11**, las cuales son: Diorita, Pórfido Monzonita Biotítico, Pórfido Monzonita Hornbléndico, ExoSkarn, Mármol y EndoSkarn en Diorita. Estas seis unidades están presentes en los dos tajos; sin embargo en el tajo Sur aparece la unidad Brecha Magmática/Hidrotermal de la cual no se cuenta con datos geotécnicos, requiriendo estudios adicionales para afinar el modelo geotécnico del proyecto en mención.

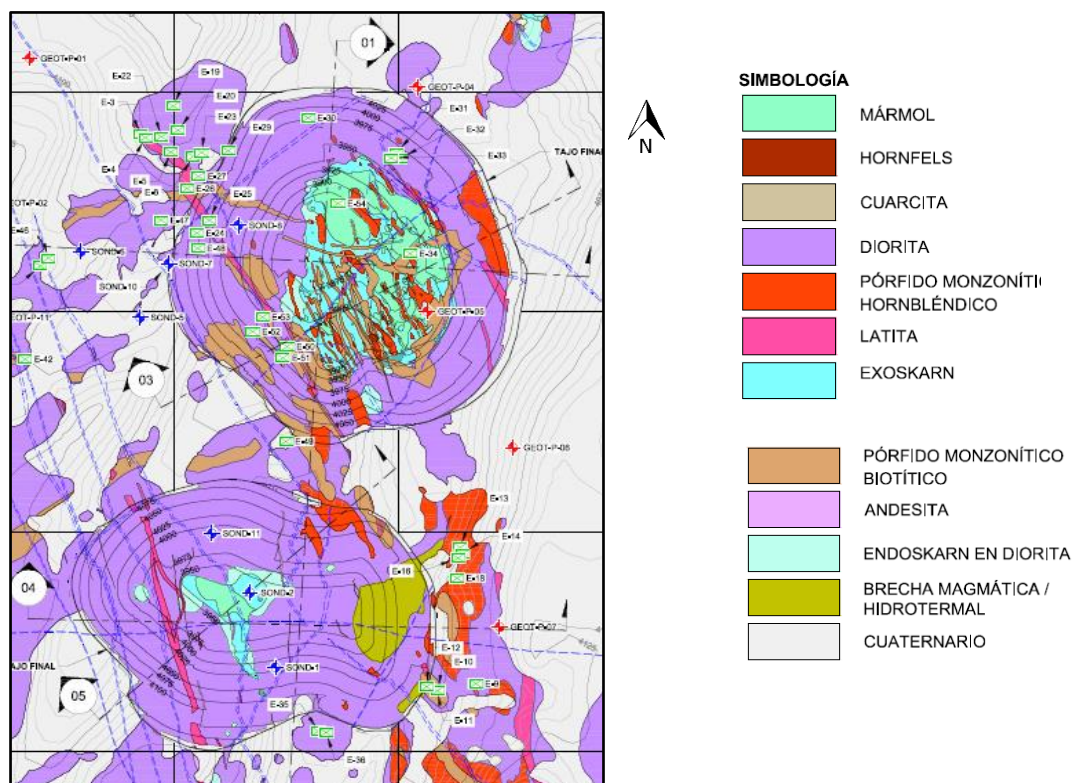


Gráfico 11: Geología expuesta en los taludes finales del Tajo Norte y Tajo Sur del Proyecto Coroccohuayco.

Para este estudio se ha considerado las estimaciones de RMR para cada tramo registrado por los ingenieros de Antapaccay, los cuales han realizado empleando la clasificación de macizo rocoso de Bieniawski de 1989; sin embargo, se ha efectuado una reducción de 5 puntos para obtener un valor equivalente al RMR 1976 (GSI) el cual se ha considerado para los análisis estadísticos.

Cálculo de RMR

El sistema de clasificación RMR₁₉₈₉ (Bieniawski, 1989) es calculado de la siguiente manera:

$$RMR = R1 + R2 + R3 + R4 + R5$$

donde: R1 = resistencia de la matriz rocosa (valuación = 0 a 15)

R2 = índice de calidad de roca, RQD (valuación = 3 a 20)

R3 = separación entre diaclasas (valuación = 5 a 20)

R4 = estado de las discontinuidades (valuación = 0 a 30)

R5 = agua subterránea (valuación = 0 a 15)

Las valuaciones de los cinco parámetros se añaden para definir los valores de RMR que representan la condición del macizo rocoso de la zona en estudio. Cinco clases del macizo rocoso, basados en los valores de RMR, clasifican las características del macizo rocoso de la siguiente manera: Clase I – Roca Muy Buena (RMR > 80); Clase II – Roca Buena (60 <RMR <80); Clase III – Roca Media o Regular (40 <RMR <60); Clase IV – Roca Mala (20 <RMR <40); y Clase V – Roca Muy Mala (RMR <20).

Parámetros Geotécnicos

Se ha considerado los parámetros geotécnicos que fueron colectados por los ingenieros de Antapaccay durante el logueo de las perforaciones geotécnicas y geológicas en las diferentes campañas geotécnicas (2011 y 2014), los cuales se reportan en el Informe de Pre Factibilidad y Factibilidad en la información geotécnica. Estos parámetros fueron convertidos a aquellos utilizados en la clasificación RMR e incluyeron:

- Identificación de la litología (conciliado con el modelo geológico proporcionado por Antapaccay);
- Recuperación total del testigo (TCR);
- Designación de la calidad de la roca (RQD);
- Número de fracturas por corrida (c/0.50m) y espaciamiento de discontinuidades;

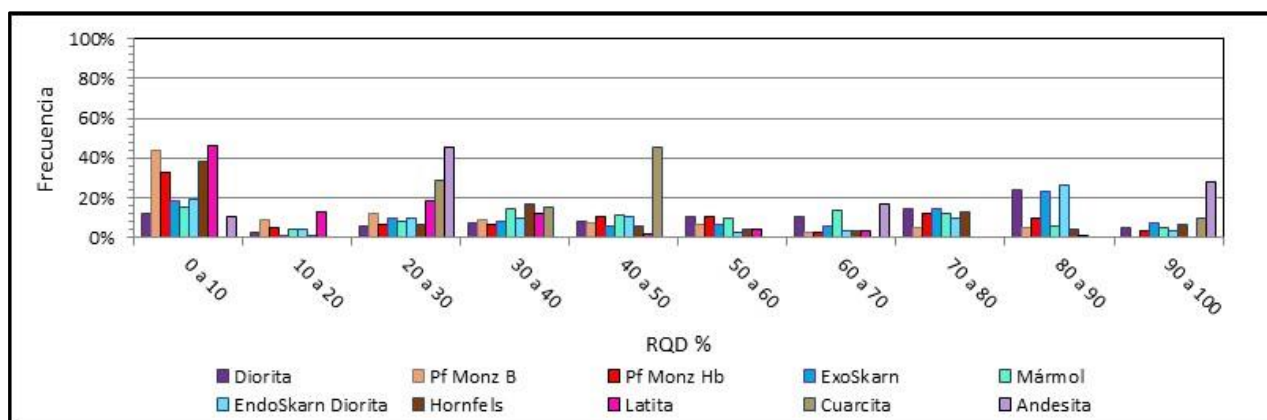
- Índice de resistencia;
- Índice de meteorización/alteración; y
- Índice de carga puntual
- Con la información proporcionada se elaboraron registros geomecánicos para las perforaciones geotécnicas ejecutadas, con denominación GEOT-P y SOND. A continuación se discute cada uno de los parámetros utilizados para la estimación del RMR con base a la información proporcionada.

RQD y Frecuencia de Fracturas

Con base a la información geotécnica obtenida con las perforaciones, en general, el macizo rocoso encontrado en el Tajo Corocchohuayco tiene un alto a intenso fracturamiento. Teniendo en cuenta el modelo geológico del Tajo Corocchohuayco, el cual está principalmente comprendido por la Diorita y que conformará gran parte de las paredes del tajo, el macizo rocoso tiene un índice de calidad promedio de roca (RQD) de 47% que indica una regular calidad, pero con un standard de desviación de 30%, sugiriendo muchos intervalos con mala calidad. Los porcentajes promedio por cada unidad litológica mostrados en la tabla 28 no exceden el 50% salvo en dos casos: ExoSkarn y la Cuarzita. El Gráfico 12 presenta la frecuencia de RQD para cada unidad litológica.

Tabla 29 : Índice de Calidad de Roca (RQD)

Unidad Litológica	Código	RQD promedio (%)	Descripción
Diorita	Diorita	47+/-29	Regular
Pórfido Monzonítico Biotítico	Pf Monz B	20+/-18	Muy Mala
Pórfido Monzonítico Hornbléndico	Pf Monz Hb	29+/-25	Mala
ExoSkarn	ExoSkarn	52+/-33	Regular
Mármol	Mármol	46+/-27	Regular
EndoSkarn en Diorita	EndoSkarn Diorita	42+/-30	Regular a Mala
Hornfels	Hornfels	23+/-24	Muy Mala
Latita	Latita	20+/-15	Muy Mala
Cuarcita	Cuarcita	53+/-25	Regular
Andesita	Andesita	47+/-35	Regular

**Gráfico 12 :** Distribución de las frecuencias de RQD por cada unidad litológica (Antapaccay)

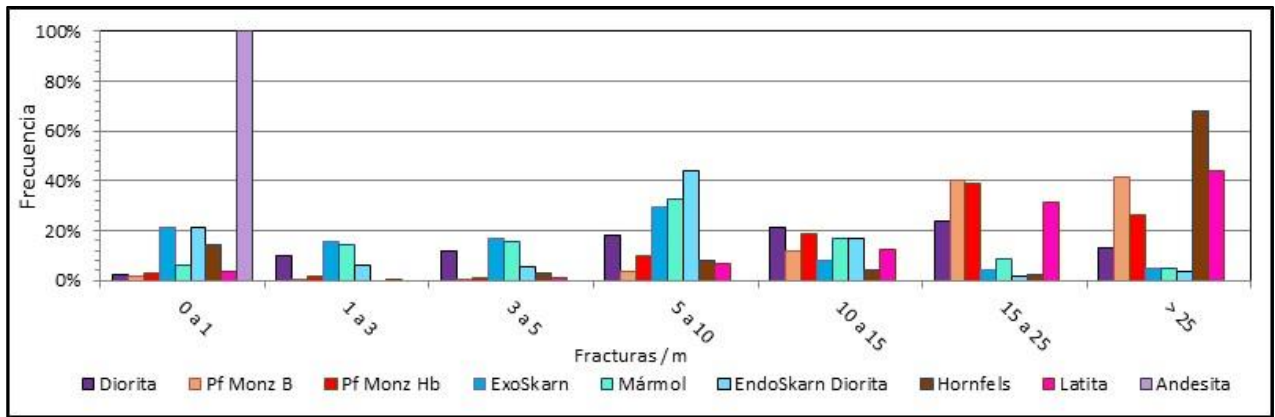


Gráfico 13 : Distribución de la frecuencia de fracturas por cada unidad litológica (considerando solamente la información de Antapaccay)

La frecuencia de fracturas se ha determinado considerando la información de Antapaccay puesto que el conteo de fracturas por corrida ha sido realizado en estos registros (GEOT-P-01 al 11). En las perforaciones ejecutadas se ha estimado el espaciamiento de discontinuidades para cada intervalo registrado.

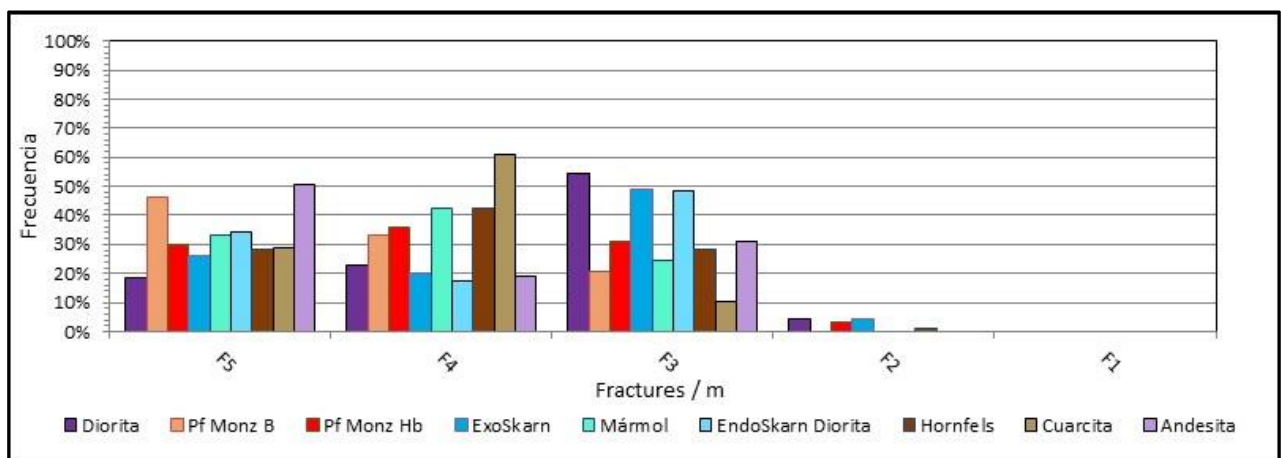
El **Gráfico 13** muestra la frecuencia de fracturas, representado por el número de fracturas por metro, para cada unidad litológica. En general, según la información obtenida mediante las perforaciones geotécnicas, el macizo tiene una frecuencia de fracturas mayor que 5 fracturas por metro; es decir un espaciamiento estimado entre 0.2 m y 0.6 m.

Espaciamiento de las Discontinuidades

Además de la frecuencia de fracturas, se ha determinado el espaciamiento de discontinuidades por cada tramo registrado en las perforaciones con denominación 'SOND'. Los intervalos han sido definidos de acuerdo a la clasificación RMR de Bieniawski de 1989. El **Gráfico 14** muestra la frecuencia de los intervalos de espaciamiento para cada unidad litológica. La **tabla 30** resume la clasificación del grado de fracturamiento en base a su espaciamiento.

Tabla 30 : Grado de Fracturamiento

Grado de Fracturamiento (F)	Espaciamiento (cm)
F1	> 200
F2	60 – 200
F3	20 – 60
F4	6 – 20
F5	< 6

**Gráfico 14 :** Distribución de frecuencia de Espaciamiento de Discontinuidades. (Fuente: Antapaccay)

Según el **Gráfico 14**, el macizo rocoso es muy fracturado a altamente fracturado, debido a que todas las unidades tienen un espaciamiento modal entre 60cm y 6cm (F3 y F5), lo que se refleja en los valores de RQD promedio para cada unidad.

4.2. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS UNIDADES LITOLÓGICAS

El macizo rocoso de Corocohuayco ha sido diferenciado en las siguientes unidades de acuerdo con su litología y presencia en la huella final del tajo.

Diorita

La unidad geotécnica Diorita es la predominante en la zona de estudio y abarca el mayor porcentaje de área de las paredes finales de los tajos Norte y Sur. Esta unidad está conformada por Diorita de color gris oscuro. El Gráfico 15 presenta los histogramas correspondientes a los parámetros geotécnicos elaborados para la Diorita.

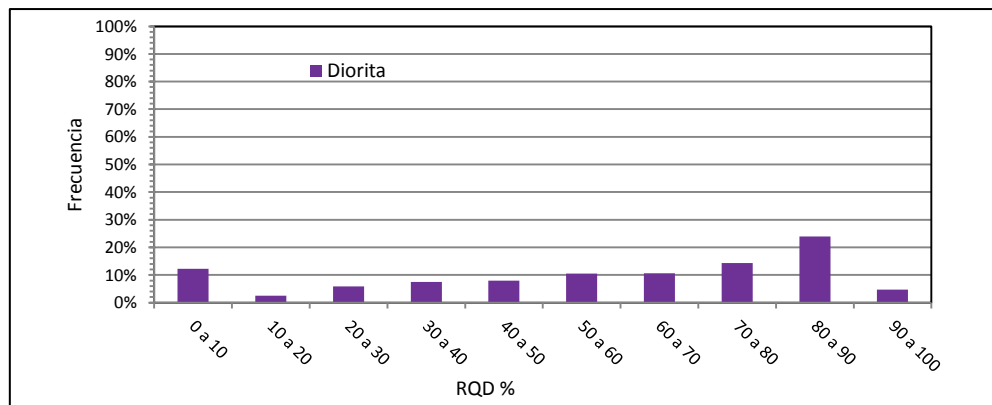


Gráfico 15 :Histogramas de RQD.

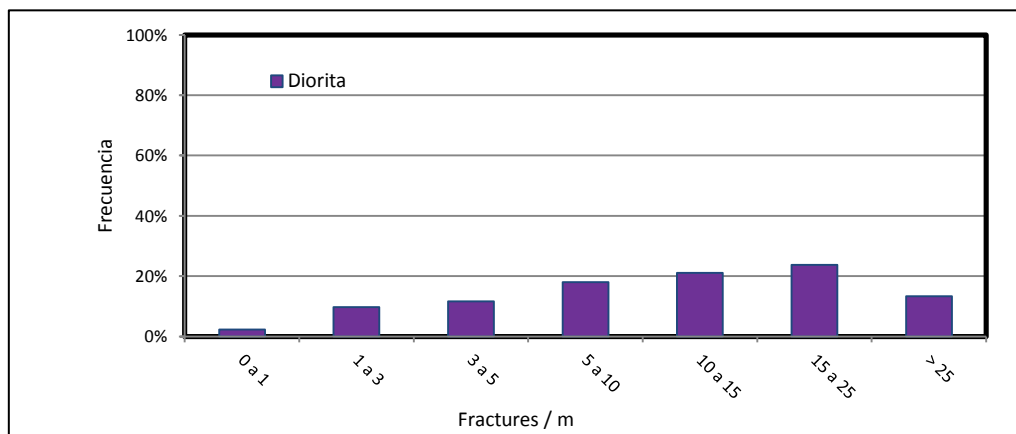


Gráfico 16 :Histogramas Fracturas/m.

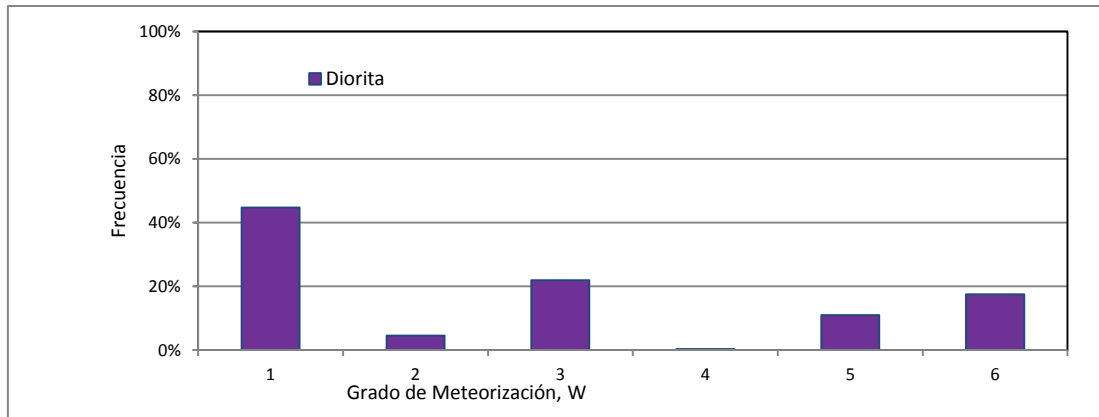


Gráfico 17 : Grado de Meteorización para la Unidad Diorita.

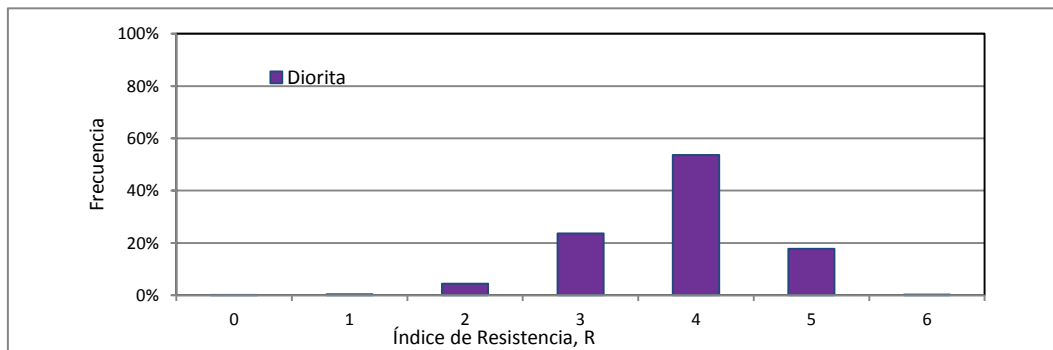


Gráfico 18 : Índice de Resistencia.

Según lo mostrado, en el Gráfico 15, la Diorita tiene un valor promedio de RQD igual a 47% que corresponde a una roca de calidad mala, y con moderado a alto grado de fracturamiento (más del 50% tiene entre 5 y 25 fracturas por metro). La resistencia estimada en campo de la Diorita varía de moderada a muy alta (entre R3 y R5), salvo en ciertos tramos alterados hidrotermalmente donde la resistencia desciende a R2. Según lo observado en los registros de las perforaciones GEOT-P y SOND, el grado de meteorización se incrementa en zonas de cizalla y con intenso fracturamiento.

La valoración del RMR para la unidad Diorita está en el rango de 40 – 60, tal como se muestra en el Gráfico 19, y el valor promedio es 46 lo que corresponde a un macizo de roca de calidad Regular.

Según el Gráfico 19 no hay un incremento de la calidad de roca hacia profundidad; sin embargo, se observa que en los primeros 20 m el valor de RMR promedio es igual a 38 (Calidad Mala), esto debido probablemente a la intemperización. Además se evidencia que a partir de los 300 m de profundidad la Diorita pierde notoriedad lo que concuerda con el modelo geológico de mina.

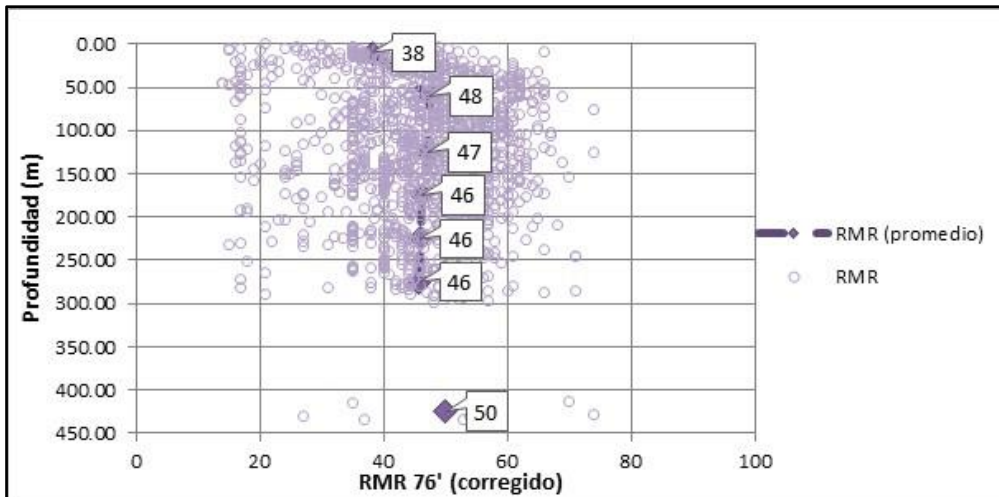


Gráfico 19 : Valor de RMR vs Profundidad para la Unidad Diorita.

4.2.1. Pórfido Monzonítico Biotítico

La unidad Pórfido Monzonítico Biotítico representa el 12.7% del macizo rocoso interceptado por las perforaciones, y según el modelo geológico está emplazado como diques (a manera de fingers) con una tendencia NO-SE.

El Pórfido Monzonítico Biotítico tiene un índice de calidad de roca muy malo (RQD = 20%), lo que se refleja en la frecuencia de las fracturas estimada del conteo de fracturas realizado por Antapaccay (perforaciones con denominación GEOT-P) el cual está entre 15 y 25 fracturas por metro. Tiene un índice de resistencia moderado a alto (R3 a R4) y un grado de meteorización entre fresco (W1) y moderadamente meteorizado (W3), representando un 53% y 29%, respectivamente.

El Gráfico 20 presenta los histogramas correspondientes a los parámetros geotécnicos elaborados para el Pórfido Monzonítico Biotítico.

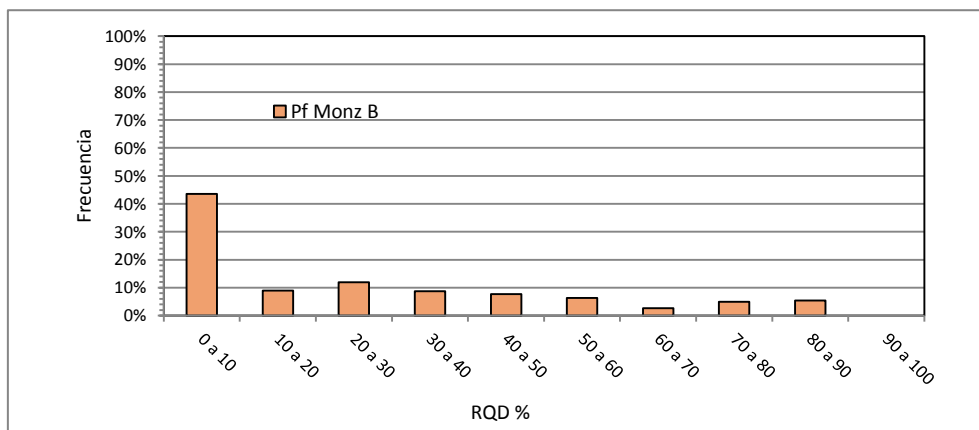


Gráfico 20 : Histogramas de RQD.

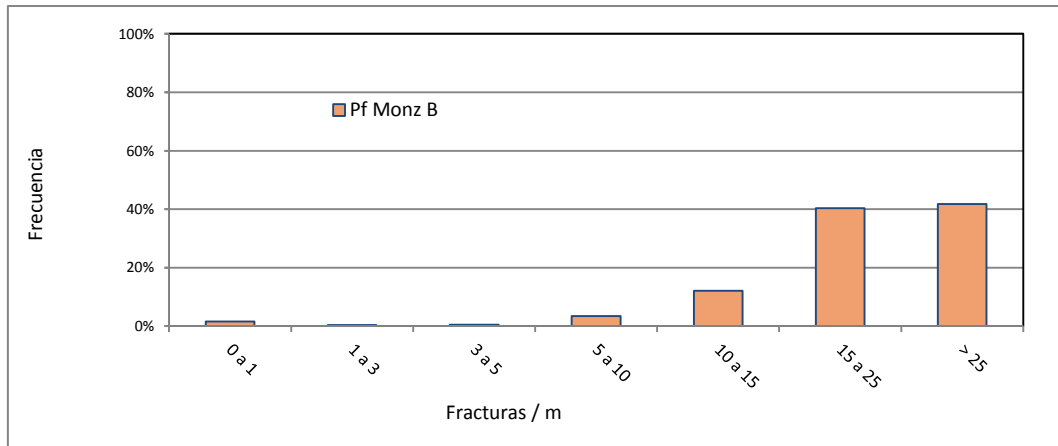


Gráfico 21 : Histograma Fracturas/m.

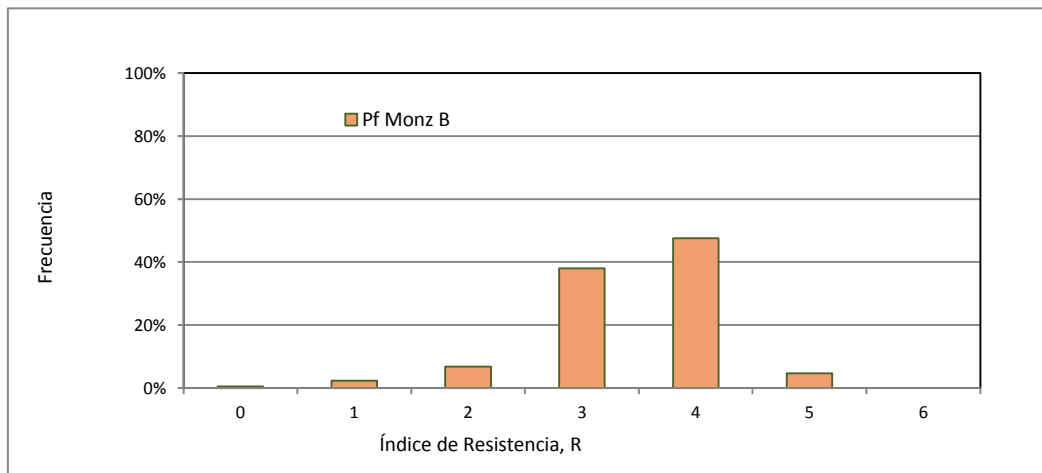


Gráfico 22 : Índice de Resistencia.

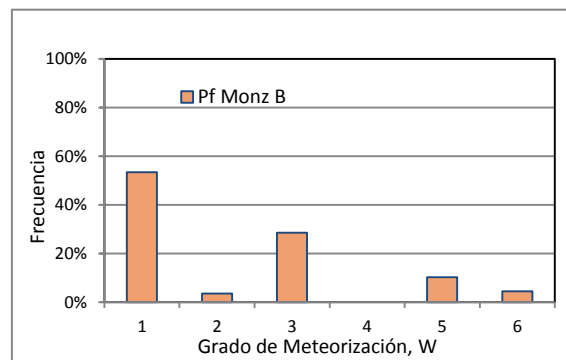


Gráfico 23 : Grado de meteorización para la Unidad Pórfido Monzonítico Biotítico.

La unidad Pórfido Monzonita Horbléndico tiene un RMR promedio igual a 38 (rango de 20 – 40), tal como se muestra en el Gráfico 24, lo que corresponde a un macizo de roca de calidad Mala. No se observa una variación del RMR en relación con la profundidad.

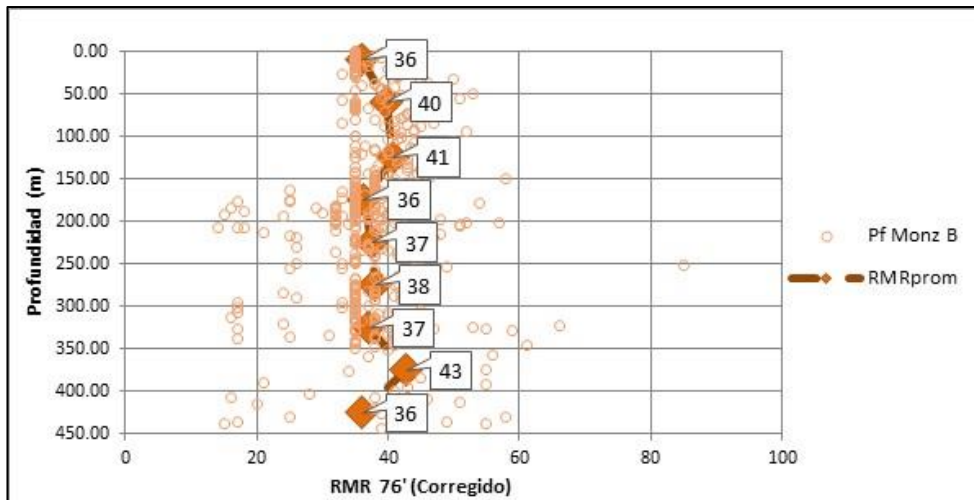


Gráfico 24 : Valor RMR vs Profundidad para la Unidad Pórfido Monzonita Biotítico.

4.2.2. Pórfido Monzonítico Hornbléndico

La unidad Pórfido Monzonítico Hornbléndico representa el 10% de la masa de roca interceptada en las perforaciones, muy similar al Pórfido Monzonítico Biotítico. De igual manera se presenta a manera de diques y su emplazamiento está relacionado con el Pórfido Monzonítico Biotítico. El Pórfido Monzonítico Hornbléndico tiene parámetros geotécnicos similares al Pórfido Monzonítico Biotítico; sin embargo se diferencia en la resistencia de la roca intacta, según lo expuesto en la Sección 6.1. Tiene un índice de calidad de roca malo (RQD = 29%) y una frecuencia de las fracturas estimada entre 15 y 25 fracturas por metro. El índice de resistencia es moderado a alto (R3 a R4) y un grado de meteorización entre fresco (W1) y moderadamente meteorizado (W3).

El Gráfico 25 presenta los histogramas correspondientes a los parámetros geotécnicos elaborados para el Pórfido Monzonítico Hornbléndico.

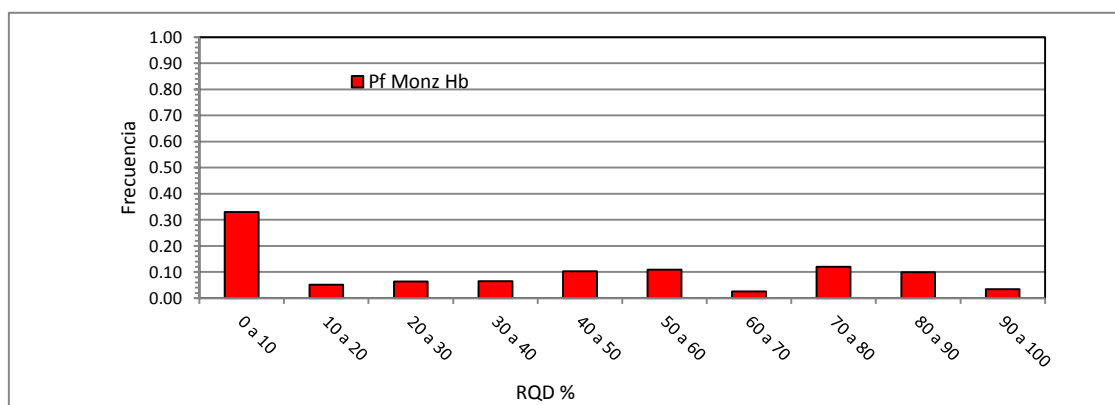


Gráfico 25 : Histogramas de RQD.

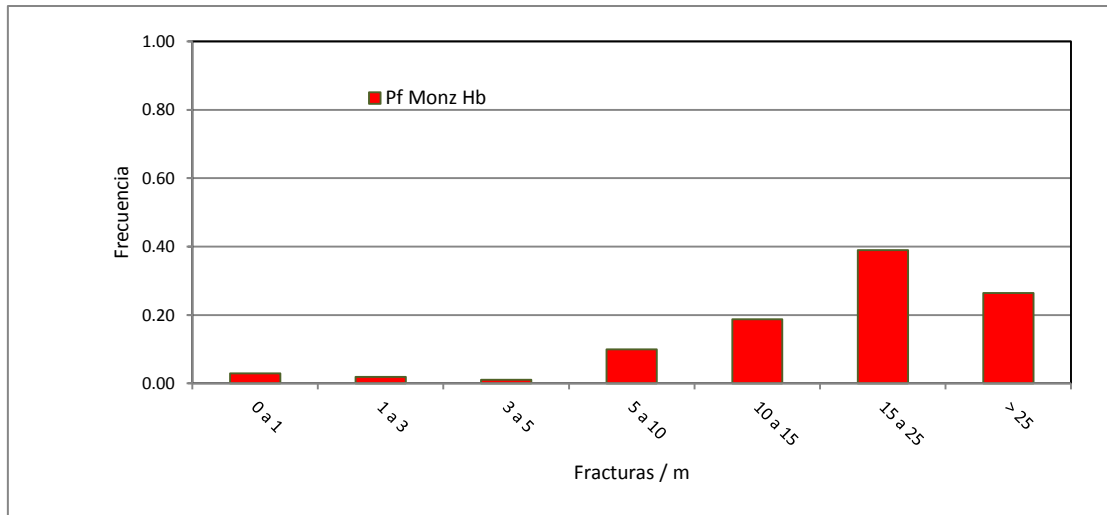


Gráfico 26 : Fracturas/m.



Gráfico 27 : Índice de Resistencia.

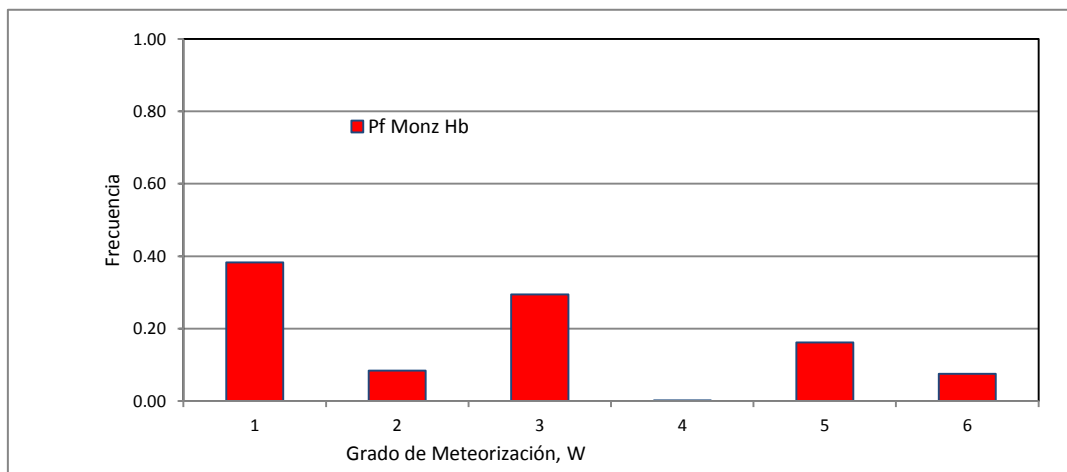


Gráfico 28 : Grado de meteorización para la Unidad Pórfido Monzonítico Hornbléndico

La unidad Pórfido Monzonita Hornbléndico consta de una longitud de perforación interceptada de 663.7 m (10% del total perforado). El valor de RMR promedio es 37, con variaciones en los promedios cada 50 m entre 28 y 48 entre los 300 y 450 m de profundidad.

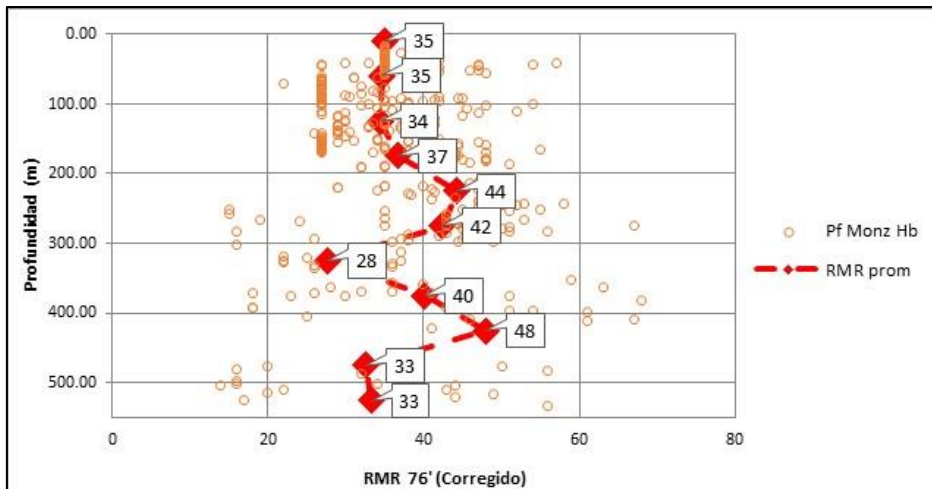


Gráfico 29 : Valores de RMR vs profundidad para la unidad Pórfido Monzonita Hornbléndico.

4.2.3. ExoSkarn

La unidad ExoSkarn se emplaza generalmente en la parte más profunda de los tajos propuestos por Antapaccay, y representa el 10% de la masa de roca interceptada en las perforaciones. Su valor de RQD promedio es 52% (índice de calidad de roca regular), con una frecuencia de fracturas estimada entre 5 y 10 fracturas por metro. Según el índice de resistencia estimado en campo es una roca resistente a muy resistente (R3 y R5) y tiene un grado de meteorización/alteración variado, que puede estar asociado a tramos de falla o con alteración hidrotermal. El Gráfico 30 presenta los histogramas correspondientes a los parámetros geotécnicos elaborados para el ExoSkarn.

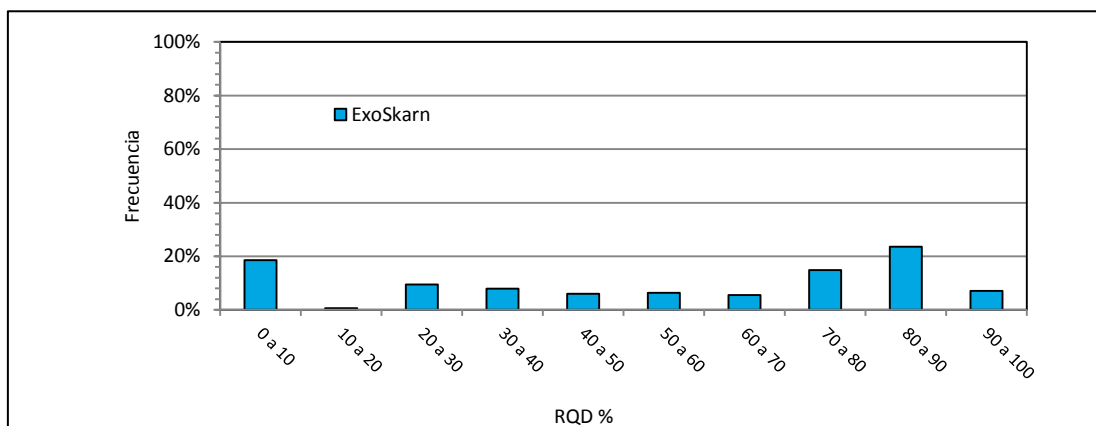


Gráfico 30 : Histogramas de RQD.

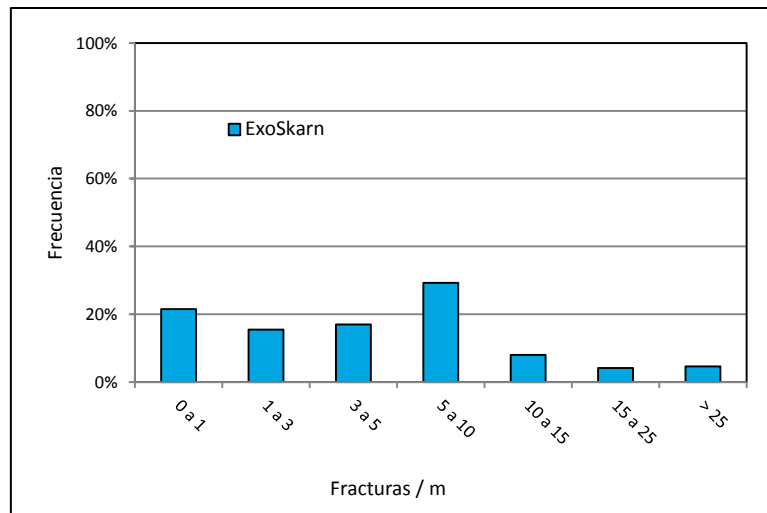


Gráfico 31: Fracturas/m.

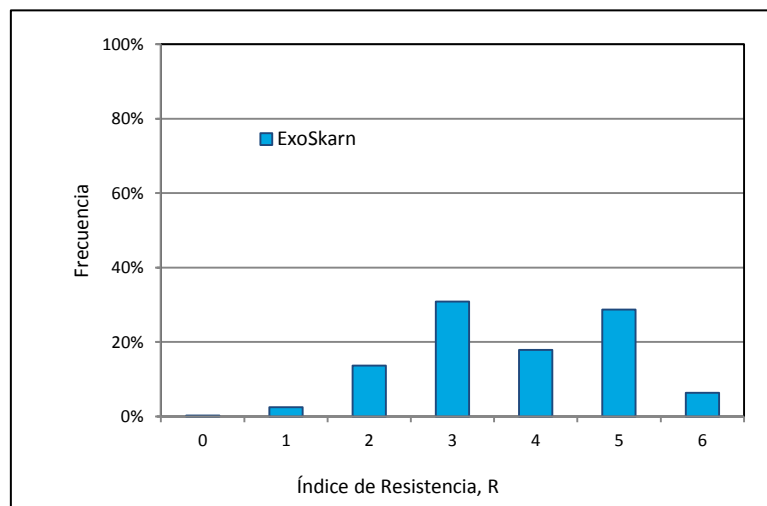


Gráfico 32 : Índice de Resistencia.

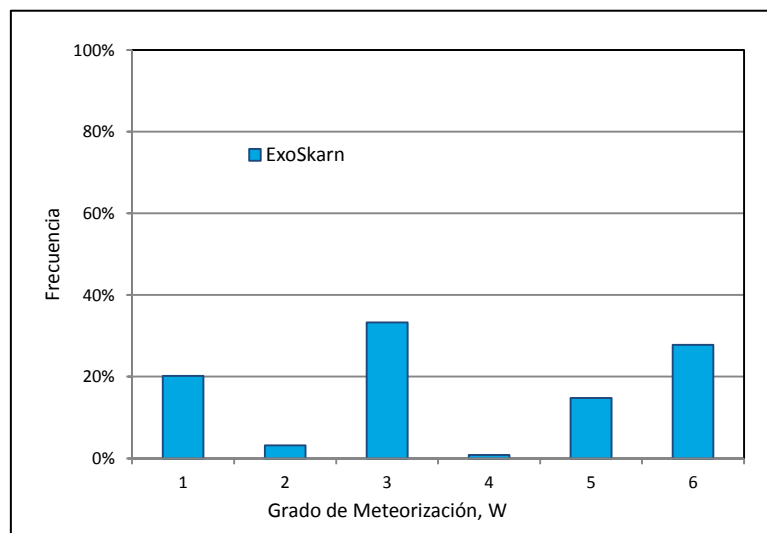


Gráfico 33 : Grado de Meteorización para la Unidad ExoSkarn.

La unidad ExoSkarn presenta valores RMR promedio entre 40 y 60 generalmente, salvo en los primeros 20 m donde tiene una valoración de 16, relacionado con la meteorización supérgena y la poca data obtenida, como se observa en el Gráfico 34. El valor RMR promedio es de 45, lo que corresponde a una roca de regular calidad.

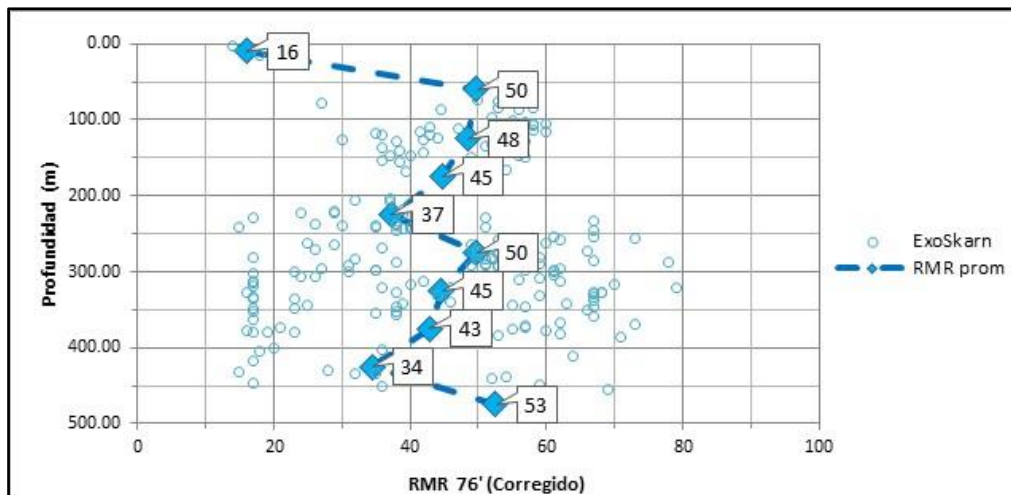


Gráfico 34 : Valores de RMR vs profundidad para la unidad ExoSkarn.

4.2.4. Mármol

La unidad Mármol ha sido interceptada en 403.44 m en las perforaciones geotécnicas (GEOT-P y SOND) lo que representa el 6.1%. Se ubica generalmente en la parte profunda de los tajos, de manera asociada al ExoSkarn.

Su RQD es igual a 46% que corresponde a un índice de regular calidad. La frecuencia de fracturas promedio está entre 5 y 10 fracturas por metro. Tiene un índice de resistencia moderada a alta (R3 a R4) y generalmente es fresca (mayor que 75%).

El Gráfico 35 presenta los histogramas correspondientes a los parámetros geotécnicos elaborados para el Mármol.

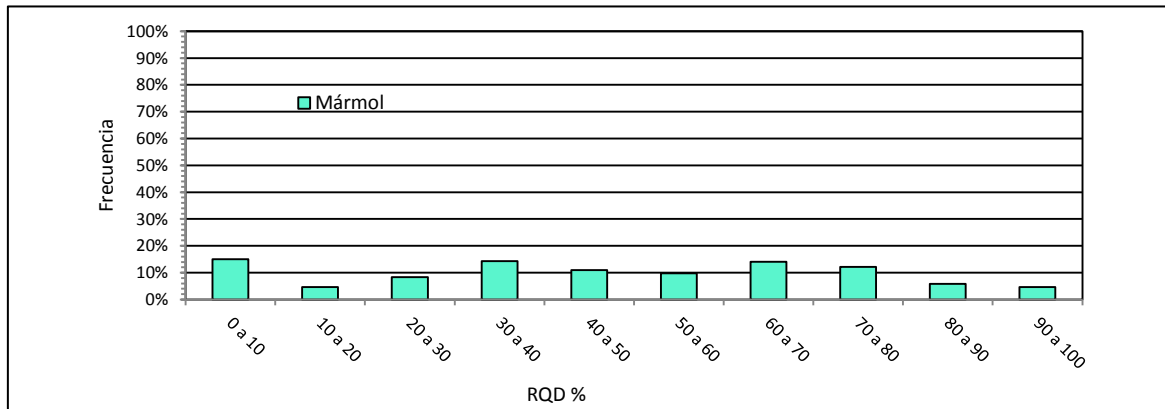


Gráfico 35 : Histogramas de RQD.

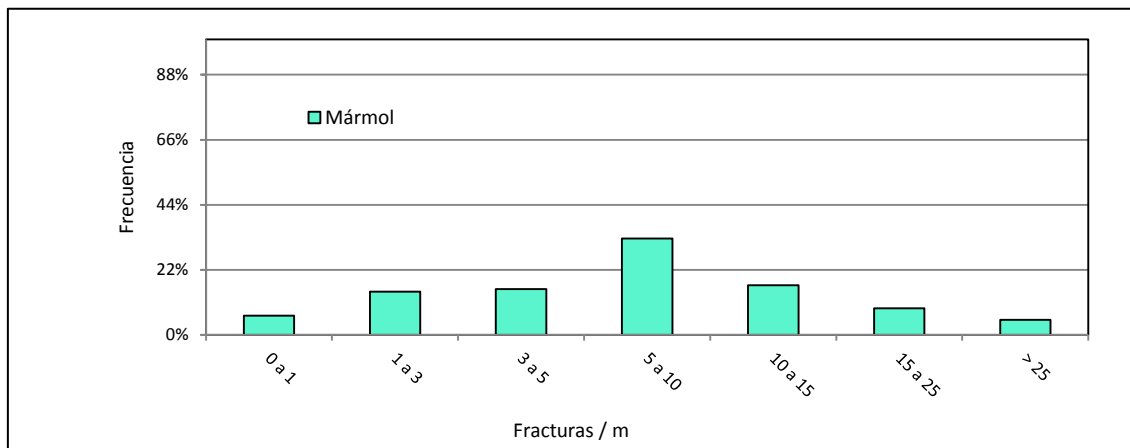


Gráfico 36 : Fracturas/m.

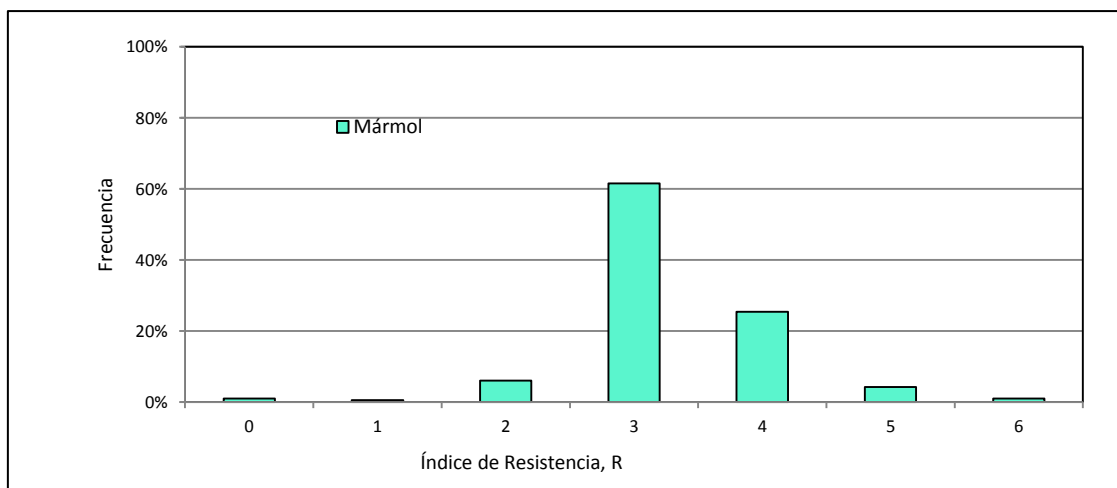


Gráfico 37: Índice de Resistencia.

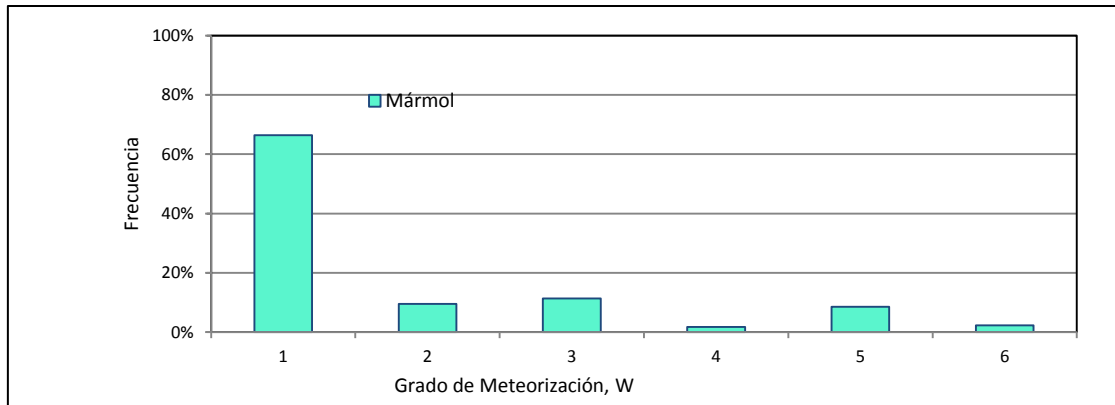


Gráfico 38 : Grado de Meteorización para la Unidad Mármol.

La unidad Mármol fue interceptada entre la profundidad de 50 y 300 m. Tiene un valor de RMR promedio de 42, y sus valores promedios por cada 50 m de profundidad están entre 40 y 45, lo que corresponde a una roca de calidad Regular.

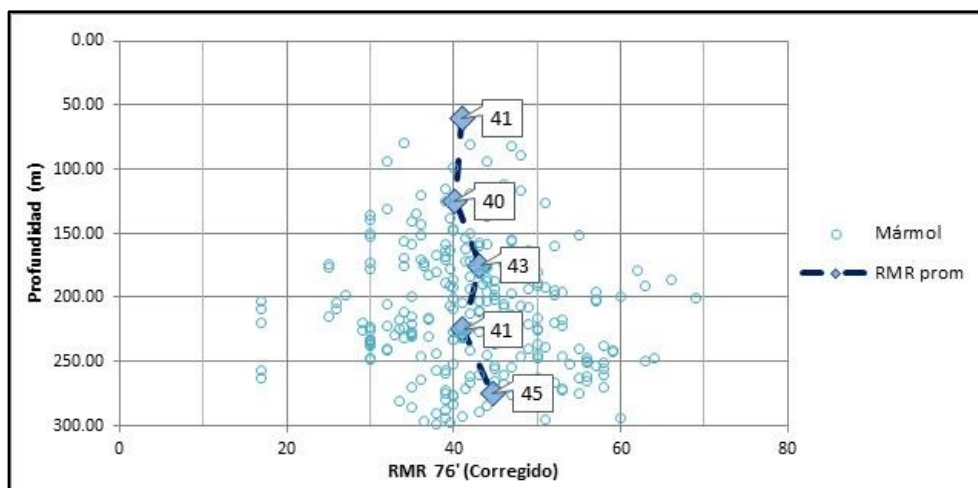


Gráfico 39 : Valores de RMR vs profundidad para a unidad Mármol.

4.2.5. EndoSkarn en Diorita

La unidad EndoSkarn en Diorita ha sido interceptada en una longitud de 329 m, lo que representa el 5%, y está emplazada ocasionalmente en los contactos entre la diorita y los pórfidos.

Esta unidad tiene un valor promedio de RQD igual a 42% que corresponde a una roca de calidad regular a mala, y con moderado a alto grado de fracturamiento (más del 50% tiene entre 5 y 15 fracturas por metro). La resistencia estimada en campo del EndoSkarn en Diorita es alta a muy alta (entre R3 y R5), salvo en ciertos tramos alterados hidrotermalmente donde la resistencia desciende a R2. El grado de meteorización, es moderadamente meteorizada (W3).

El Gráfico 40 presenta los histogramas correspondientes a los parámetros geotécnicos elaborados para el EndoSkarn en Diorita.

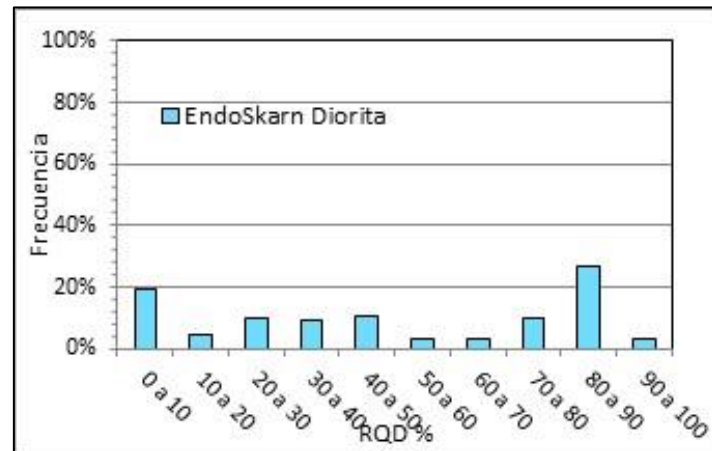


Gráfico 40 : Histogramas de RQD.

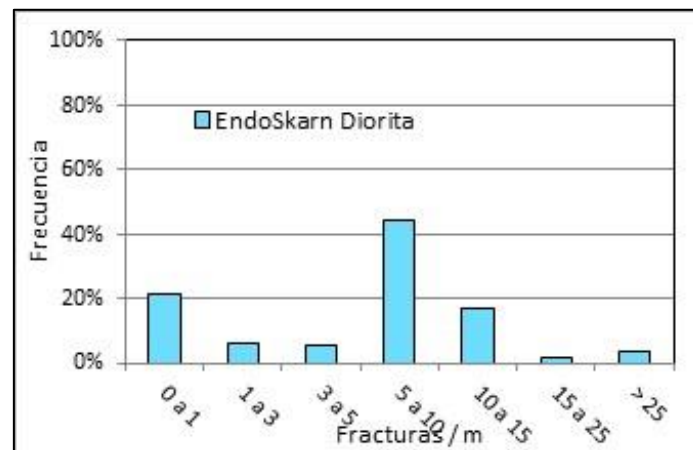


Gráfico 41 : Fracturas/m.

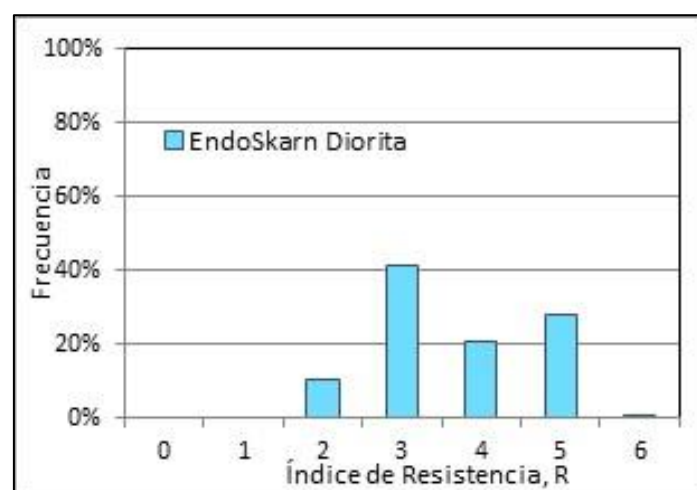


Gráfico 42 : Índice de Resistencia.

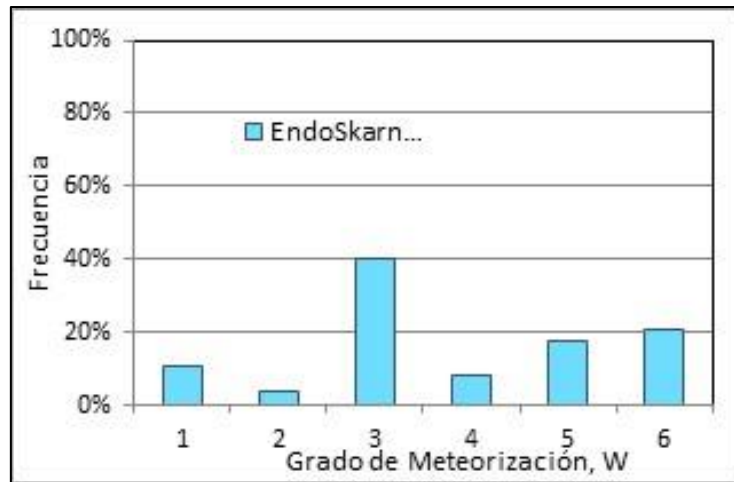


Gráfico 43 : Grado de Meteorización para la Unidad EndoSkarn en Diorita

La unidad EndoSkarn en Diorita tiene una valoración promedio de RMR igual a 41, lo que corresponde a una roca de calidad Regular. Sus valores promedios por cada 50 m de profundidad están entre 38 y 43; sin embargo entre 50 y 100 m presenta un RMR mayor igual a 51.

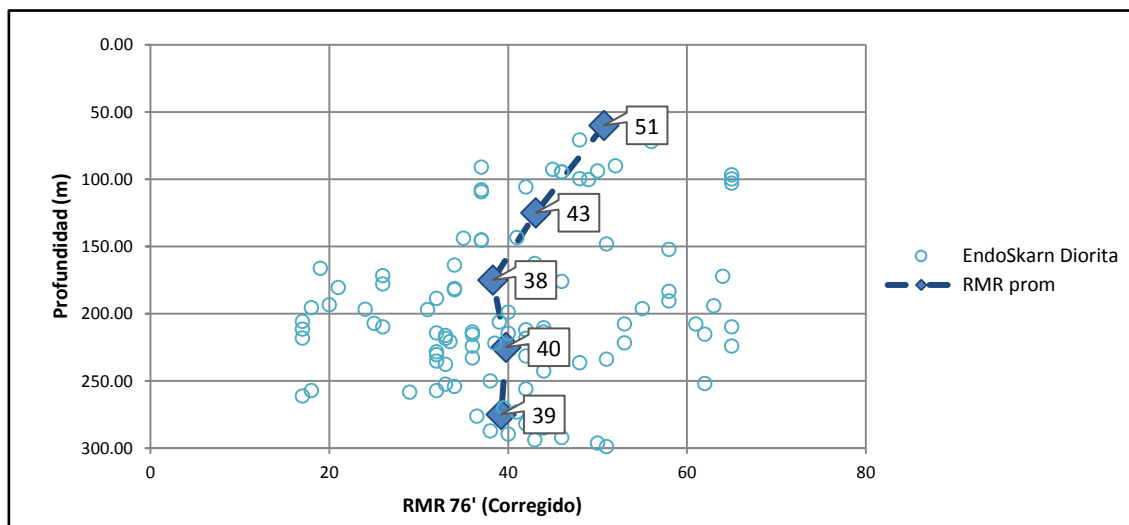


Gráfico 44 : Valores de RMR vs profundidad para la unidad EndoSkarn en Diorita.

4.3. RESUMEN DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DEL MACIZO ROCOSO

Como se ha mencionado anteriormente, la valoración del RMR ha tomado en cuenta la evaluación geomecánica, e información geotécnica registrada por Antapaccay. Adicionalmente se ha estimado una clasificación de RMR considerando la información de perforaciones con locaciones dentro del tajo y diferenciándolos por tajo Norte y Sur. Estos valores de RMR estimados para cada unidad se resumen en el tabla 31.

Tabla 31: Resumen de valores de RMR₁₉₇₆ de las unidades del macizo rocoso del Tajo Coroccohuayco

Unidad	RQD ^(Global) (%)	RMR ₁₉₇₆ ^(Global) (corregido)	RMR ₁₉₇₆ (considerando perforaciones dentro de los tajos)	
			Tajo Norte	Tajo Sur
Diorita	47 +/- 29	46 +/- 11	45	40
Pórfido Monzonita Biotítico	20 +/- 18	38 +/- 7	35	-
Pórfido Monzonita Horbléndico	29 +/- 25	37 +/- 10	34	38
ExoSkarn	52 +/- 33	45 +/- 16	44	43
Mármol	46 +/- 27	42 +/- 9	51	-
EndoSkarn Diorita	42 +/- 30	41 +/- 12	42	38
Otros (Hornfels, etc)	23 +/- 24	40 +/- 8	34	38

4.4. ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y CINEMÁTICO DEL MACIZO ROCOSO DEL TAJO COROCCOHUAYCO – ESTUDIO GEOTÉCNICO DE FACTIBILIDAD DEL TAJO DE COROCCOHUAYCO

4.4.1. Contexto estructural (basado en el informe de modelo estructural 2016)

Las estructuras de fallas identificadas en el proyecto Corocchohuayco corresponden a tres sistemas de fallas principales. El sistema más importante tiene una dirección NO-SE (rumbo andino), el segundo sistema tiene una dirección NE-SO (rumbo andino), el segundo sistema tiene una dirección NE-SO y el tercero, una dirección E-O.

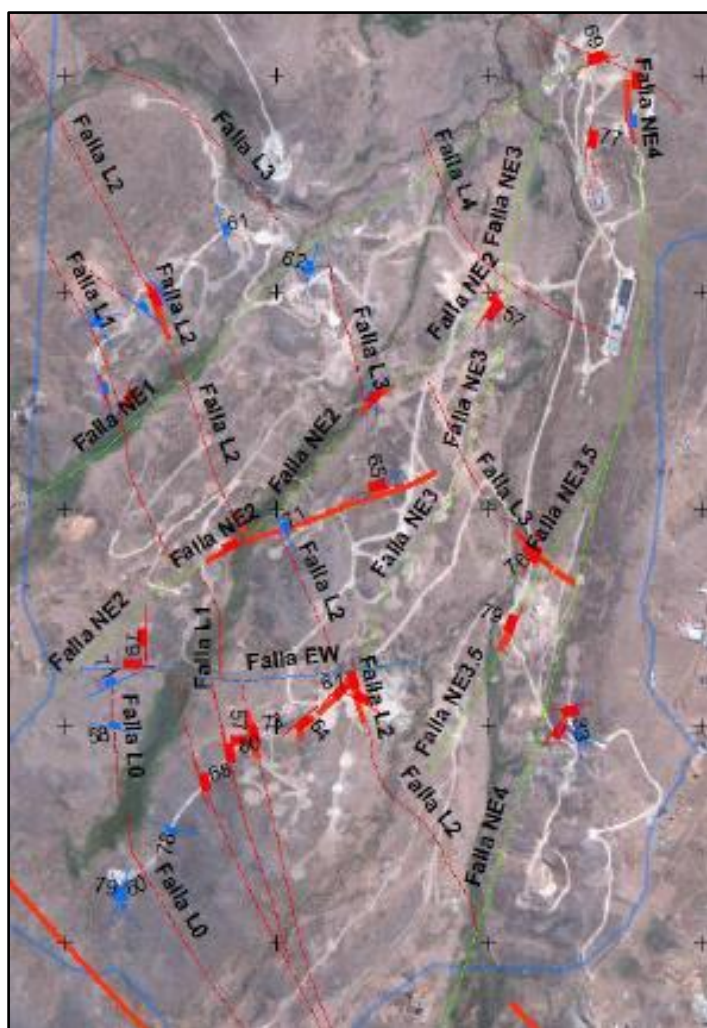


Imagen 23 : Fallas identificadas en el área del Proyecto Corocchohuayco, diferenciando los tres sistemas: Sistema NO-SE (rojo), Sistema NE-SO (verde) y Sistema E-O (azul). (Fuente: Modelo Estructural - 2016)

En general, las fallas definidas en superficie tienen un buzamiento mayor a 60° , y de acuerdo a la dirección de las estrías encontradas (con ángulos sub horizontales) han sufrido un movimiento transcurrente. Estas fallas han sido

correlacionadas, a profundidad con la información de perforaciones. En la mayoría de casos, las fallas coinciden con contactos litológicos. Además se reporta la identificación de pequeñas fallas de bajo ángulo con componente inversa, pero no se ha confirmado su continuidad en superficie.

El sistema de fallas NO-SE, tiene un buzamiento con dirección al NE, mientras que las fallas NE-SO buzán en dirección NO y SE, generando un horst estructural limitado por las fallas NE1, NE2 y NE3.

Las fallas del sistema NE-SO forman parte de un sistema de fallas regionales que ya ha sido definido por Antapaccay, que corresponde a un control estructural que se presenta en los depósitos de Tintaya, Antapaccay y Corocchohuayco.

Como resultado del estudio se tienen las siguientes estructuras mayores (fallas) identificadas en superficie:

Resumen de Fallas Mayores identificadas en el Tajo Corocchohuayco

Sistema	Identificación	Buzamiento promedio	Dirección de Buzamiento	Falla
NO-SE	Falla L1	74	70	FLT L1
	Falla L2	70	70	FLT L2
	Falla L3	60	50	FLT L3
	Falla L4	82	214	FLT L4
NE-SO	Falla NE1	65	311	FLT NE1
	Falla NE2	74	334	FLT NE2
	Falla NE3	58	138	FLT NE3
	Falla NE3.5	19	292	FLT NE3.5
	Falla NE4	89	85	FLT NE4
E-O	Falla E-W	80	5	FLT E-W

4.4.2. Procesamiento de la data estructural

Los datos obtenidos mediante los diversos métodos fueron revisados para poder ser integrados adecuadamente, de esta manera se establecieron los atributos que cada método proporcionará a la caracterización de los sistemas, según se muestra en la tabla 32.

Tabla 32 : Criterios de Correlación de Atributos

Método	Atributo
Estudio Geo-Estructural	Fallas Regionales Principales y fallas locales (dirección y dirección de buzamiento)
Ventanas Estructurales	Fallas locales y Sistemas de Discontinuidades (dirección y dirección de buzamiento)
Perforaciones con Testigos Orientados	Rugosidad y Tipo de Relleno de Discontinuidades
Registros de televiever	Determinación de Sistemas de Discontinuidades (Buzamiento y Dirección de Buzamiento)

Cabe mencionar que el macizo rocoso del Tajo Coroccohuayco corresponde a un macizo muy fracturado, con abundantes zonas de cizalla, como se muestra en el Gráfico 45, lo que ha limitado la precisión del registro de las estructuras mediante las perforaciones con orientación de testigos.



Gráfico 45 : Fotos de cajas de testigos de las perforaciones SOND-2 (izquierda) y SOND-7 (derecha), mostrando profundidades entre 80 y 100 m.

Esto ha conllevado a que la determinación de los sistemas sea proporcionada exclusivamente por los registros de televiever, que representa un método de mayor confiabilidad debido a que las estructuras son identificadas y medidas de

las paredes del pozo; es decir, sin ser manipuladas como ocurre al momento de colocar el testigo en la caja de muestras.

Además, la orientación de las perforaciones crea zonas ‘ciegas’ (o “blind zones”) en los estereogramas correspondientes a que no se puede medir las estructuras que son sub-paralelas el eje de la perforación, y con eso no se evidencia la ocurrencia de familias de discontinuidades en esas zonas. En el caso de los estereogramas de las perforaciones con orientación de testigos, estas zonas ciegas no aparecen lo que indica que algunos tramos han perdido la orientación generando falsa data en esas zonas, como se observa en el Gráfico 46.

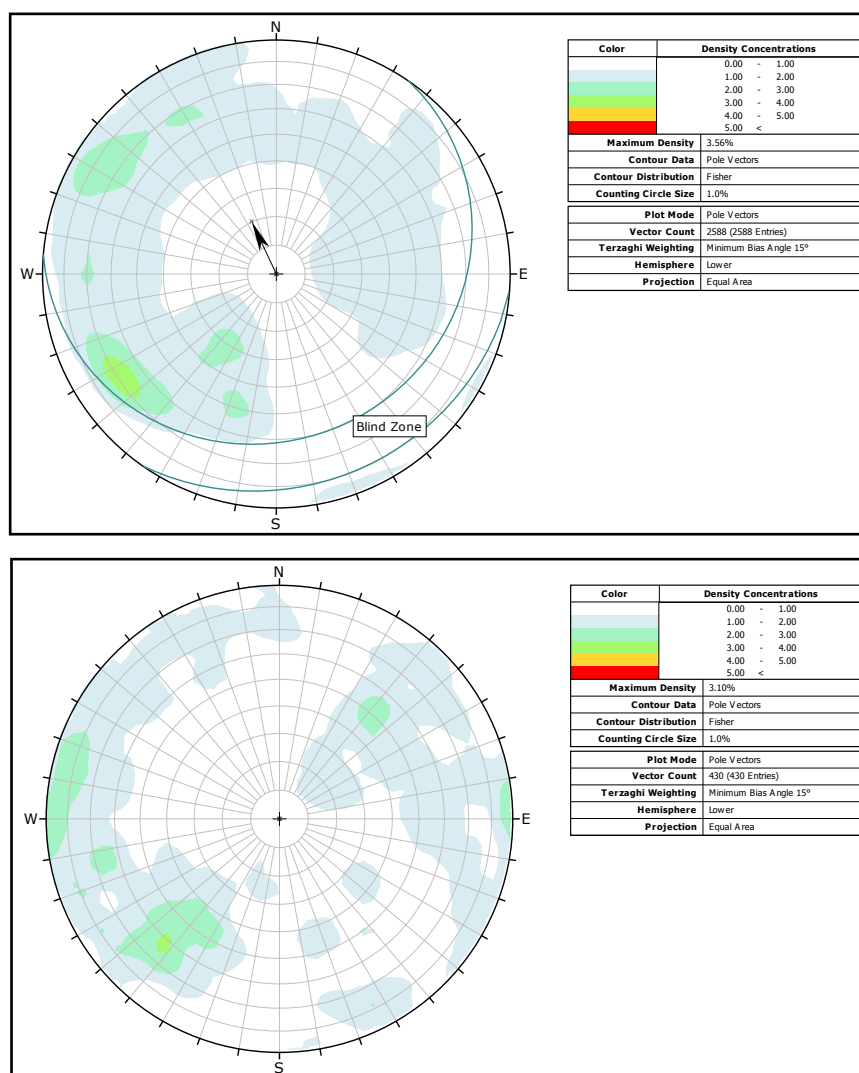


Gráfico 46 : Proyecciones estereográficas de la perforación SOND-2 (Izquierda: Televiewer, y Derecha: Testigos Orientados). Se observa menor resolución en la correspondencia de concentraciones de polos, lo que limita la correlación de datos.

4.4.3. Proyecciones estereográficas de concentración de polos por perforación

Se elaboraron proyecciones estereográficas para cada perforación con base en la data de televiewer. Para cada perforación se ha generado un diagrama de polos diferenciados por tipo de estructura y otro de concentraciones. Estas proyecciones han sido corregidas con la declinación magnética que corresponde al área del Proyecto Corocchohuayco (-4°), según la National Oceanic and Atmospheric Administration.

La orientación de las discontinuidades se ha corregido por desvío de taladro (Traverse - Manual DIPS versión 6), a partir de la información respectiva generada por Geotecnia Peruana y entregada por Chinalco, así como la ponderación geométrica de Terzaghi. Esta corrección tiene influencia en las estructuras que están orientadas sub-paralelamente (menores de 15°) a la dirección de la perforación, que son medidas con menos frecuencia, creando zonas ciegas o vacías ("blind zones") en las proyección estereográfica.

4.4.4. Fábrica estructural

A partir de la información proporcionada por Antapaccay, y tomando en cuenta los resultados del modelo estructural, se ha realizado el análisis estructural del macizo rocoso del futuro Tajo Corocchohuayco, donde se han identificado las siguientes estructuras:

4.4.5. Estructura Mayores o Fallas

De acuerdo con el modelo estructural del Tajo Corocchohuayco 2016, existen tres sistemas de fallas principales: el primero con orientación NO-SE (rumbo andino), el segundo con orientación NE-SO y E-O.

En el área de influencia de los tajos (Norte y Sur) se ha identificado diez (10) fallas.

4.4.6. Sistemas de Diaclasas o Discontinuidades

Los datos estructurales proporcionados por Antapaccay han sido procesados. Este análisis ha permitido la identificación de sistemas de discontinuidades principales y secundarias para el Tajo Norte y Tajo Sur.

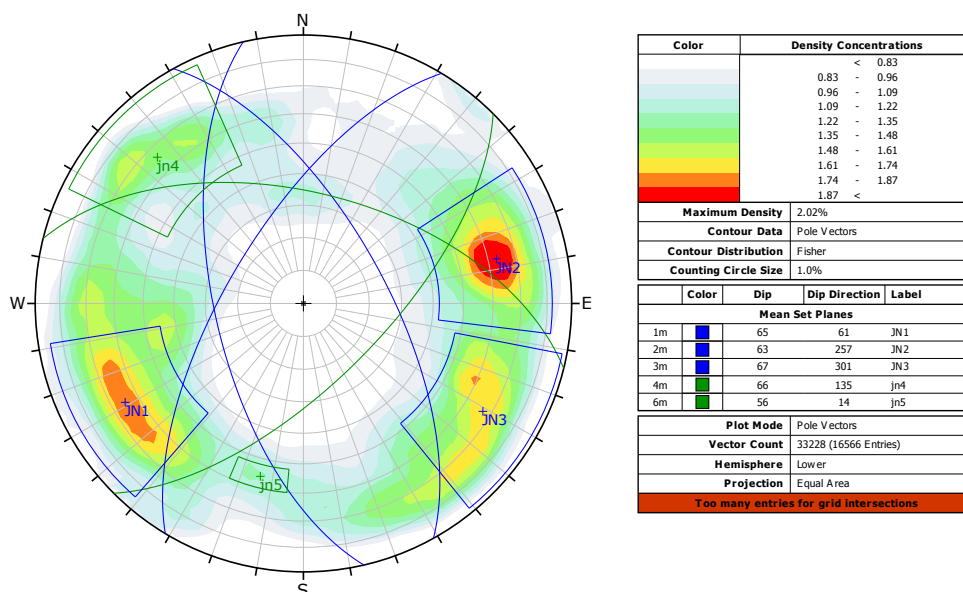


Gráfico 47 : Proyección Estereográfica mostrando los sistemas de discontinuidades identificados en el Tajo Norte

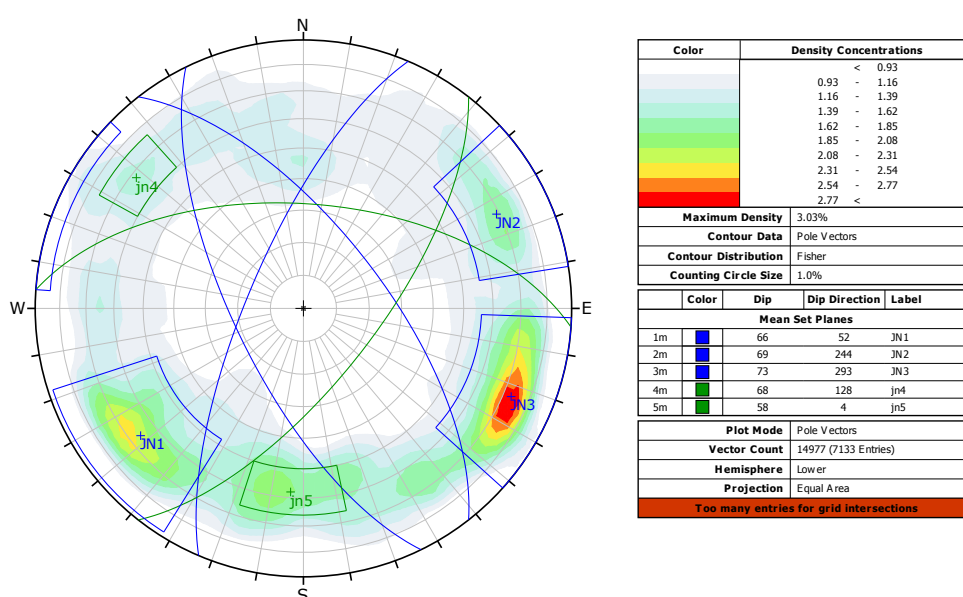


Gráfico 48 : Proyección Estereográfica mostrando los sistemas de discontinuidades identificados en el Tajo Sur

Estos sistemas corresponden a juntas o diaclasas en general, y guardan relación con los sistemas de fallas que gobiernan el macizo rocoso de Corocchohuayco. La tabla 33 presenta los elementos de orientación de los sistemas mayores y menores.

Tabla 33 : Resumen de Sistemas de Discontinuidades del Tajo Coroccohuayco

Tajo Norte		
Sistema	Buzamiento (°)	Dirección de Buzamiento (°)
JN1	65 ± 11	061 ± 12
JN2	63 ± 11	257 ± 11
JN3	67 ± 10	301 ± 29
jn4	66 ± 6	135 ± 9
jn5	56 ± 3	014 ± 5
Tajo Sur		
Sistema	Buzamiento (°)	Dirección de Buzamiento (°)
JN1	66 ± 9	052 ± 11
JN2	69 ± 9	245 ± 11
JN3	73 ± 9	289 ± 29
jn4	68 ± 5	128 ± 5
jn5	58 ± 5	008 ± 6

4.5. CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES

Los sistemas de discontinuidades identificados en el área del Tajo Coroccohuayco han sido caracterizados con la información disponible proporcionada por Antapaccay. Se ha tomado como base los registros de televiewer para determinar la variabilidad del buzamiento y dirección de buzamiento de los sistemas, la estimación de la apertura modal y máxima.

La información recopilada en los registros de testigos orientados ha sido incorporada en la caracterización de los sistemas; sin embargo no hay una correlación clara entre los estereogramas de las perforaciones con orientación de testigos y de los registros de televiewer.

A continuación se resume la caracterización para cada sistema identificado en el tajo de Coroccohuayco.

4.5.1. Sistema JN1:

El sistema principal JN1 tiene elementos de orientación promedio (buzamiento/dirección de buzamiento) de 65°/054°, con variaciones en la dirección del buzamiento, N061 para el tajo Norte y N052 para el tajo Sur.

De acuerdo al análisis, el 70% de estas discontinuidades corresponde a estructuras discontinuas cerradas, es decir, menores que 1mm.

El Gráfico 49 muestra la variabilidad del buzamiento y de la dirección de buzamiento del sistema JN1.

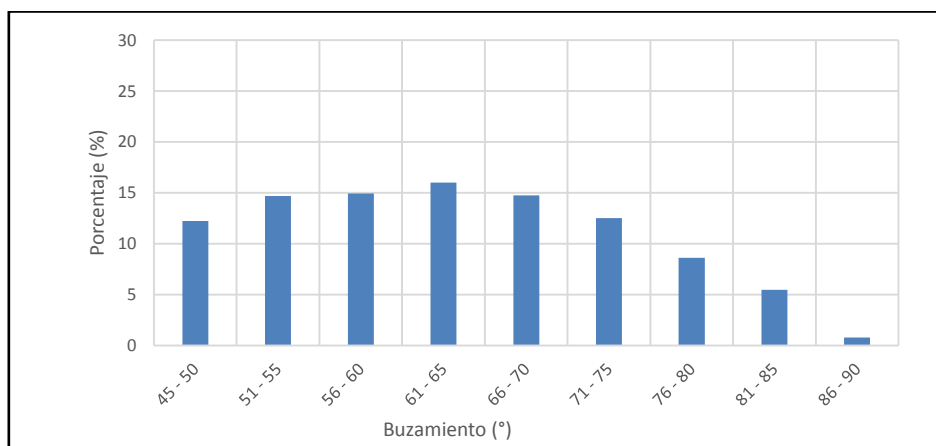


Gráfico 49 : Histogramas de variabilidad del buzamiento.

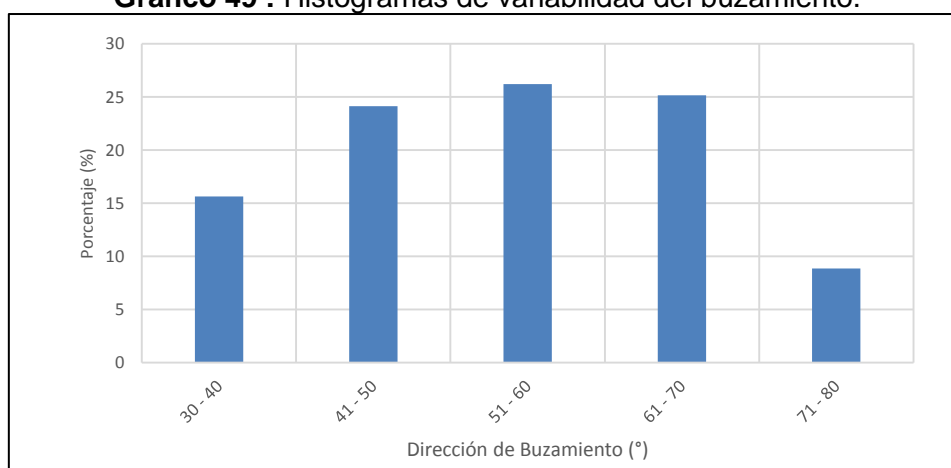


Gráfico 50 : Dirección de buzamiento del sistema JN1.

4.5.2. Sistema JN2

El sistema principal JN2 tiene un buzamiento/dirección de buzamiento promedio de 62°/252°, en el tajo Norte tiene 67°/301° y en el tajo Sur 69°/245°.

De acuerdo al análisis, el 72% corresponde a estructuras discontinuas con apertura menor que 1cm. El 23% corresponde a estructuras continuas con apertura menor que 1cm, el 3% a estructuras con aperturas entre 1 y 5 cm, y el 2 % con apertura mayor que 5 cm.

El **Gráfico 51** muestra la variabilidad del buzamiento y de la dirección de buzamiento del sistema JN1.

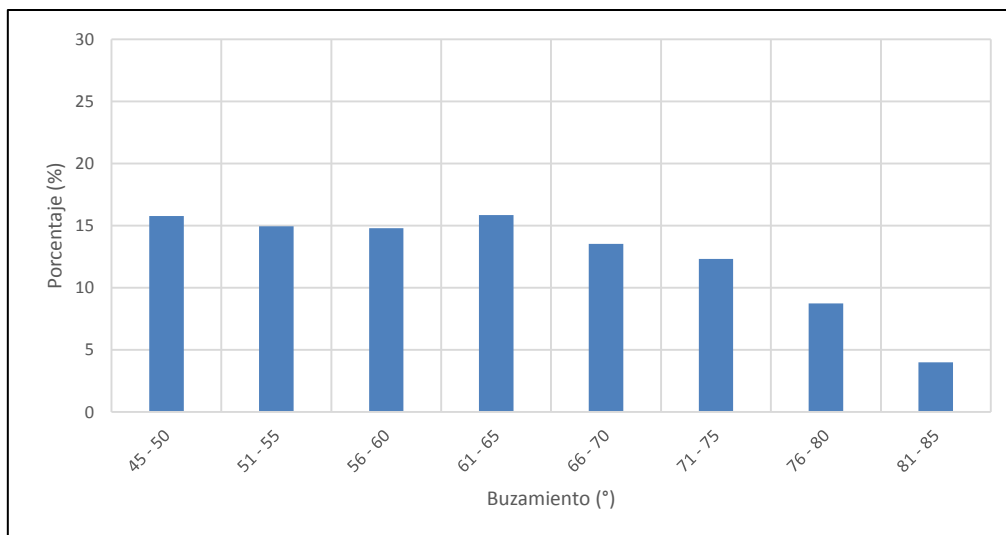


Gráfico 51 : Histogramas de variabilidad del buzamiento.

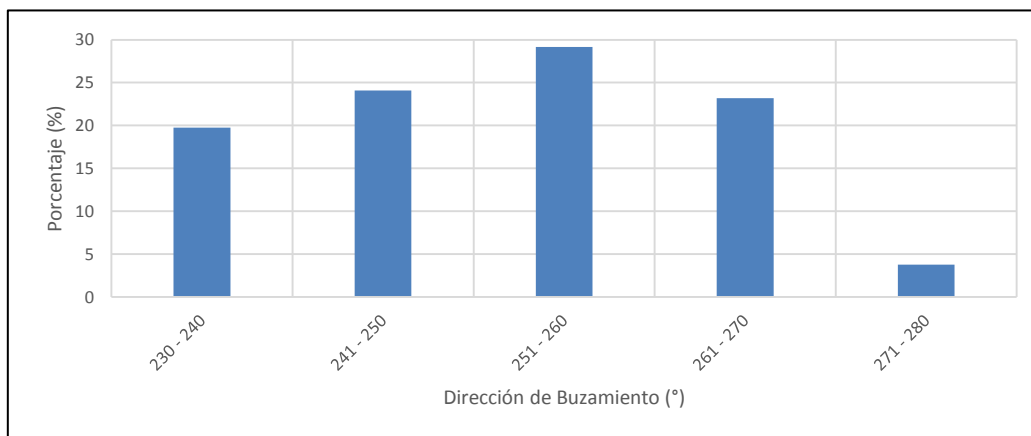


Gráfico 52 : Dirección de buzamiento del sistema JN2.

4.5.3. Sistema JN3

El sistema principal JN3 tiene un buzamiento/dirección de buzamiento promedio de $67^{\circ}/296^{\circ}$, en el tajo Norte tiene $63^{\circ}/257^{\circ}$ y en el tajo Sur $73^{\circ}/289^{\circ}$.

De acuerdo al análisis, el 73% corresponde a estructuras discontinuas con apertura menor que 1cm. El 21% corresponde a estructuras continuas con apertura menor que 1cm, el 4% a estructuras con aperturas entre 1 y 5 cm, y el 2 % con apertura mayor que 5 cm.

El **Gráfico 53** muestra la variabilidad del buzamiento y de la dirección de buzamiento del sistema JN1.

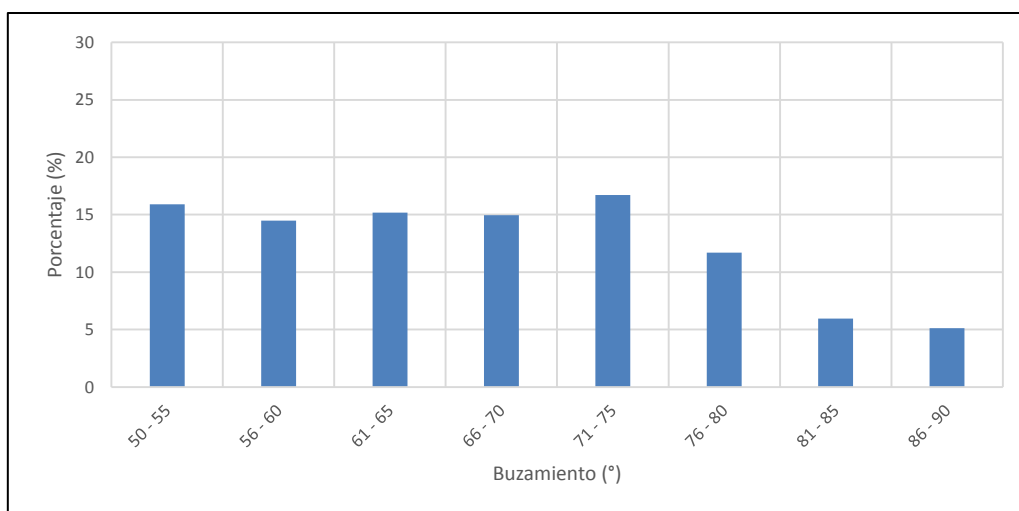


Gráfico 53 : Histogramas de variabilidad del buzamiento.

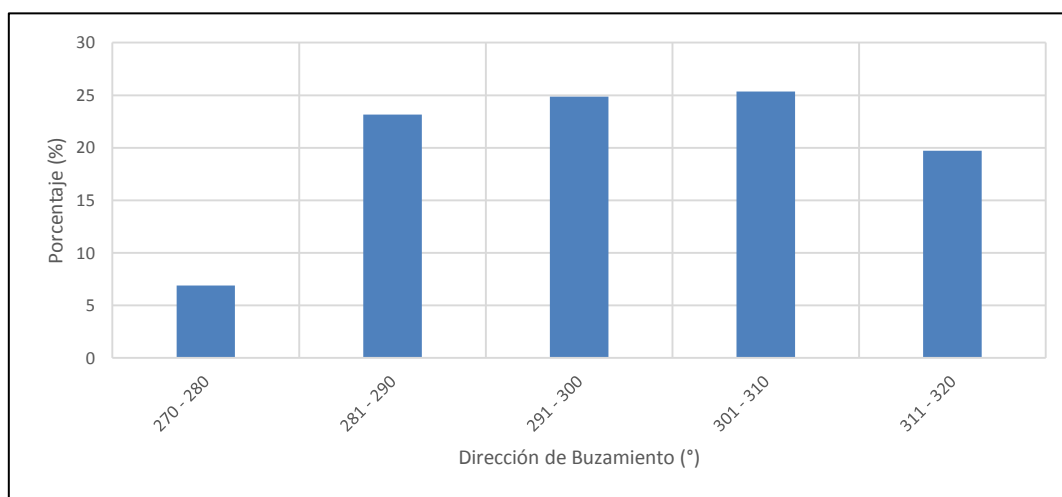


Gráfico 54 : Dirección de buzamiento del sistema JN3.

4.5.4. Sistema JN4

Corresponde a un sistema secundario con base a la poca concentración que se observa en las proyecciones estereográficas del **Gráfico 74** y **Gráfico 75**. Tiene un buzamiento/dirección de buzamiento promedio de $67^{\circ}/131^{\circ}$, en el tajo Norte tiene $66^{\circ}/135^{\circ}$ y en el tajo Sur $68^{\circ}/128^{\circ}$.

De acuerdo al análisis, el 70% corresponde a estructuras discontinuas con apertura menor que 1cm. El 23% corresponde a estructuras continuas con apertura menor que 1cm, el 5% a estructuras con aperturas entre 1 y 5 cm, y el 1% con apertura mayor que 5 cm.

El Gráfico 55 muestra la variabilidad del buzamiento y de la dirección de buzamiento del sistema JN1.

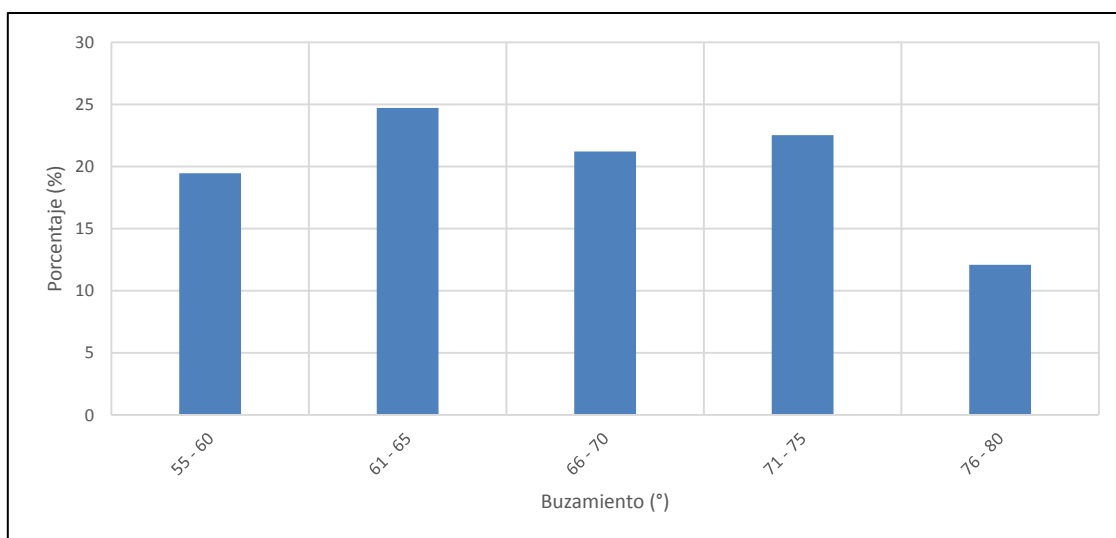


Gráfico 55 : Histogramas de variabilidad del buzamiento

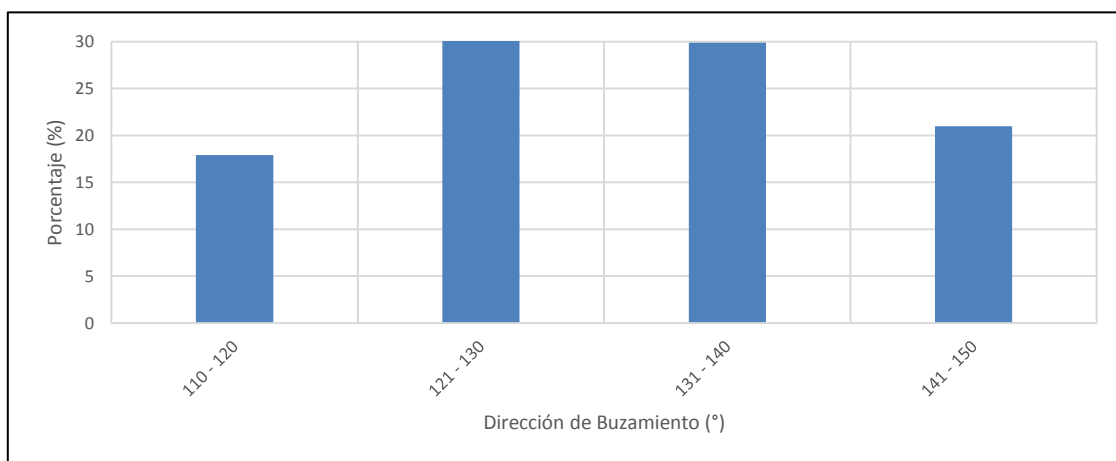


Gráfico 56 : Dirección de buzamiento del sistema JN4

4.5.5. Sistema JN5

Corresponde a un sistema secundario con base a la poca concentración que se observa en las proyecciones estereográficas del Gráfico 76 y Gráfico 77. Tiene un buzamiento/dirección de buzamiento promedio de $58^{\circ}/009^{\circ}$, en el tajo Norte tiene $56^{\circ}/014^{\circ}$ y en el tajo Sur $58^{\circ}/008^{\circ}$. De acuerdo al análisis, el 78% corresponde a estructuras discontinuas con apertura menor que 1cm. El 18% corresponde a estructuras continuas con apertura menor que 1cm, el 2% a estructuras con aperturas entre 1 y 5 cm, y el 2% con apertura mayor que 5 cm.

El Gráfico 57 muestra la variabilidad del buzamiento y de la dirección de buzamiento del sistema jn5.

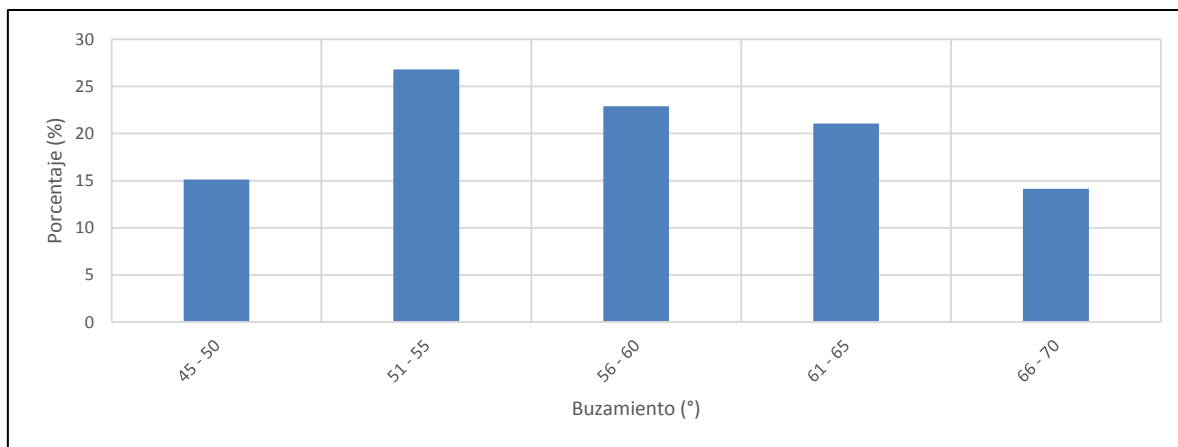


Gráfico 57 : Histogramas de variabilidad del buzamiento

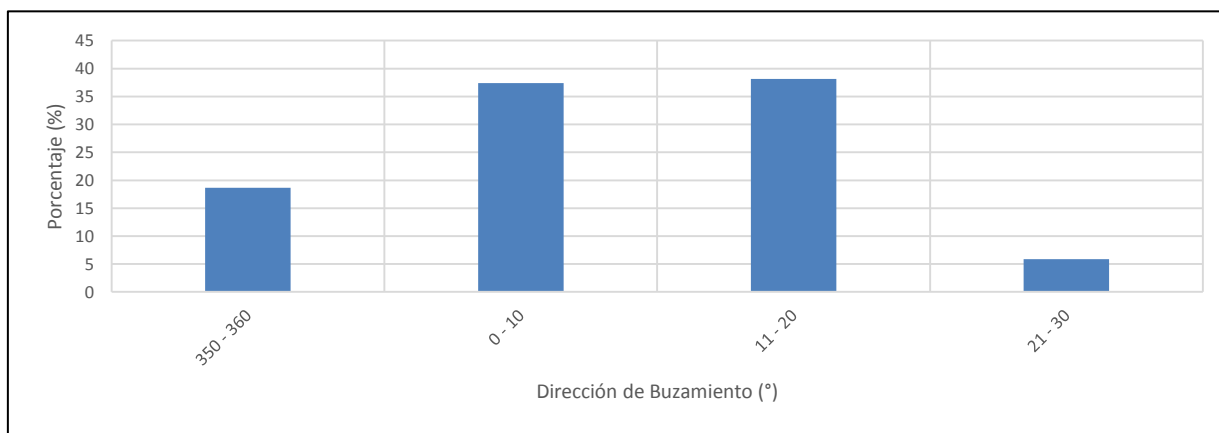


Gráfico 58 : Dirección de buzamiento del sistema JN5

4.6. ANÁLISIS CINEMÁTICO

A partir de los sistemas de discontinuidades principales y fallas identificados se ha realizado una evaluación cinemática preliminar para determinar potenciales fallas controladas estructuralmente para cada tajo.

Para este análisis se ha subdividido el Tajo Sur y Tajo Norte en diferentes zonas tomando en cuenta la ubicación de las fallas identificadas y la geometría de los tajos; es decir, las principales direcciones de buzamiento de talud de los tajos Norte y Sur.

4.6.1. Mecanismos de Falla Estructuralmente Controlados

Las fallas controladas estructuralmente ocurren como resultado del desplazamiento de bloques a lo largo de discontinuidades geológicas pre-existentes. Los tres mecanismos básicos de falla en taludes de roca controlados estructuralmente son: fallas planares, falla tipo cuña y fallas de volcamiento o toppling, descritas a continuación:

Una **falla planar**, puede ocurrir cuando una discontinuidad geológica buza a favor del talud con un ángulo que es menor que la inclinación del talud y mayor que el ángulo de fricción de la discontinuidad. Las fallas planares sólo desarrollarán una extensión significativa si el rumbo de la discontinuidad está en el rango de $\pm 20^\circ$ de la dirección del talud.

Una **falla tipo cuña**, ocurre cuando dos o más discontinuidades geológicas se intersectan para formar una cuña inestable. Para que esta cuña se desplace, la línea de intersección debe buzarse a favor del talud a una inclinación menor que la inclinación de la cara del talud, pero mayor que el ángulo de fricción a lo largo de las discontinuidades. Las fallas tipo cuña solo desarrollarán una extensión significativa si el azimut de la línea de intersección está entre $\pm 45^\circ$ de la dirección del buzamiento de la cara del talud.

Una **falla tipo vuelco o toppling**, puede desarrollarse cuando el macizo rocoso contiene estructuras geológicas múltiples, paralelas, con buzamiento empinado, tales como fallas o juntas / foliaciones continuas que se orientan paralelamente cerca a la orientación de la cara del talud de roca. La falla tipo vuelco se puede generar únicamente cuando la dirección de las estructuras está entre $\pm 20^\circ$ del azimut de la cara del talud de roca. Cinemáticamente, el potencial de falla tipo vuelco es determinado por el espaciamiento (separación), inclinación y continuidad de los bloques y el ángulo del talud. Espaciamiento amplio y/o estructuras discontinuas mitigarán el potencial de volcamiento.

La frecuencia y magnitudes de las fallas estructuralmente controladas son directamente afectadas por la continuidad y espaciamiento de las discontinuidades donde el desplazamiento pueda ocurrir.

4.6.2. Resultados del Análisis Cinemático

Para el análisis cinemático preliminar se ha considerado ángulo de fricción (ϕ) igual a 33° y cohesión (c) igual a 0 KPa. Las potenciales fallas controladas estructuralmente han sido identificadas para cada dominio estructural.

Tabla 34 : Resumen de Potenciales Fallas Estructuralmente Controladas - Tajo Norte

Sector	Dirección de Buzam. de Talud (°)	Tipo de Falla								
		Planar		Toppling		Cuña				
		Sistema	Buz (°)	Sistema	Buz (°)	Set 1	Set 2	Plunge	Trend	FS _{Seco}
I	N 150	jn4	66	JN3	67	JN1	jn4	60	96	0.4
				FLT NE1	65	JN2	jn4	45	198	0.9
II	N 220	FLT L4	82	JN1	65	JN2	JN3	63	266	0.3
						JN2	jn4	45	198	0.9
						JN2	NE3	42	194	1.0
III	N 255	JN2	63	JN1	65	JN2	JN3	63	266	0.3
						JN2	L4	59	291	0.7
						JN2	NE2	62	276	0.4
						JN3	L4	66	285	0.3
						JN3	NE2	66	284	0.5
IV	N 315	JN3	67	jn4	66	JN1	JN3	48	3	0.8
		FLT NE2	74			JN2	JN3	63	266	0.3
						JN2	jn5	41	320	1.0
						JN2	NE2	62	276	0.4
						JN3	jn5	54	355	0.5
						JN3	L3	49	2	0.7
						JN3	NE2	66	284	0.5
V	N 045	JN1	65	JN2	63	JN1	JN3	48	3	0.8
		FLT L3	60			JN1	jn5	56	15	0.4
						JN1	L3	52	8	3.1
						JN1	NE2	62	32	0.4
						JN1	jn4	60	96	0.4
						JN3	jn5	54	355	0.5
						JN3	L3	49	2	0.7
						jn4	jn5	41	68	1.0
						jn4	L3	55	84	0.5
						jn5	L3	56	19	0.4
						jn5	NE2	53	42	0.9
						L3	NE2	59	35	0.4
VI	N 100			JN2	63	JN1	jn4	60	96	0.4
				JN3	67	jn4	jn5	41	68	1.0
						jn4	L3	55	84	0.5

En el Tajo Norte, el análisis cinemático indicó que las potenciales fallas del tipo planares identificadas tienen un ángulo de buzamiento mayor igual que 63° , salvo la Falla L3 que tiene un buzamiento de 60° , identificado en los taludes con dirección $N 045^\circ \pm 10^\circ$ aproximadamente. Respecto a fallas tipo cuña, los taludes con direcciones entre $N 315^\circ$ y $N 045^\circ$ (lado Sur del tajo Norte) desarrollan mayor cantidad de este tipo de fallas.

Tabla 35: Resumen de Potenciales Fallas Estructuralmente Controladas - Tajo Sur

Sector	Dirección de Buzamiento de Talud ($^\circ$)	Tipo de Falla								
		Planar		Toppling		Cuña				
		Sistema	Buz ($^\circ$)	Sistema	Buz ($^\circ$)	Set 1	Set 2	Plunge	Trend	FS _{Seco}
I	N 135	jn4	68	JN3	73	JN1	jn4	62	86	0.4
		JN3	73			jn4	L1	68	116	0.3
						jn4	L2	66	104	0.3
II	N 185			jn5	58	JN2	jn4	53	185	0.7
						JN2	NE3	50	181	0.7
						jn4	NE3	36	201	5.6
III	N 265	JN2	69	JN1	66	JN2	JN3	69	255	0.2
		JN3	73			JN2	jn5	44	312	0.9
						JN2	E-W	64	281	0.5
						JN3	E-W	73	287	0.2
IV	355	jn5	58			JN1	JN3	53	359	0.7
		FLT E-W	85			JN1	jn5	58	7	0.4
						JN1	L2	64	29	0.9
						JN2	jn5	44	312	0.9
						JN3	jn5	58	354	0.4
						JN3	L2	48	3	1.1
						jn5	L2	58	15	0.4
V	N 040	JN1	66	JN2	69	JN1	JN3	53	359	0.7
						JN1	jn4	62	86	0.4
						JN1	jn5	58	7	0.4
						JN1	L1	58	7	1.7
						JN1	E-W	63	80	0.5
						JN3	jn5	58	354	0.4
						JN3	L1	51	1	1.0
						jn4	jn5	42	59	1.0
						jn4	E-W	60	81	0.7
						jn5	L1	58	7	0.4
						L1	E-W	74	72	0.2

En el Tajo Sur, las potenciales fallas del tipo planar tienen un ángulo de buzamiento mayor igual que 66° , salvo el sistema jn5 que corresponde a un sistema secundario con un buzamiento promedio de 58° , desarrollándose en los taludes con dirección de buzamiento $N 355^\circ \pm 10^\circ$.

En los taludes con direcciones entre $N 355^\circ$ y $N 040^\circ$ (lado Sur del tajo Norte) desarrollan mayor cantidad de fallas tipo cuña.

Mediante la información en la presente tesis demostré las hipótesis formuladas, cumplí 4 objetivos y genere 3 conclusiones.

Conclusiones

- Se determinó que la estimación del índice de resistencia de campo indica que la Diorita, ExoSkarn y el EndoSkarn en Diorita presentan un RMR promedio entre 41 y 46 (regular) para el macizo fresco, también son las unidades más resistentes con un índice entre R3 y R5 (25 a 250 MPa). El resto de unidades tiene un índice entre R3 y R4. Las rocas intrusivas (Diorita, Pórfido Monzonítico Biotítico, Pórfido Monzonítico Hornbléndico, ExoSkarn, EndoSkarn en Diorita y Latita) tiene valores de I_{s50} muy dispersos, llegando en algunos casos hasta 13MPa aproximadamente. Los ángulos de fricción para las principales unidades están en el rango de 32° a 34° y los valores de cohesión, entre 0.1 y 0.5 MPa. Para el análisis cinemático se recomienda emplear valores conservadores ($\phi=30^\circ$ y $C=0\text{KPa}$) debido a la poca representación de la información dentro del ámbito de los tajos
- Se ha identificado tres sistemas principales de estructuras mayores o fallas: Sistema NO-SE, NE-SO y E-O. Se han identificado tres sistemas principales de discontinuidades (JN1, JN2, y JN3) y dos sistemas secundarios (jn4, y jn5). En general, más del 70% de las estructuras identificadas mediante televiewer corresponden a estructuras discontinuas con una apertura menor que 1cm.
- Según el análisis cinemático, en el Tajo Norte no habría controles estructurales para desarrollar fallas tipo planar en bancos con ángulos de cara de 63°; sin embargo, se recomienda la verificación de cuñas formadas pela intersección de las fallas L3 y NE2 (plunge = 59°) en la pared Sur-Oeste. En el Tajo Sur, el sistema secundario jn5 puede desarrollar fallas tipo planar en las paredes que buzcan al N ($N 355^\circ \pm 10^\circ$ aproximadamente). Las fallas tipo cuña se desarrollan mayor presencia en los taludes con dirección de buzamiento entre N355 y N040, resaltándose la intersección entre las Fallas L1 y E-W con plunge de 74°, la cual no ocasionara inestabilidad para bancos con ángulo de cara de 63°.

Recomendaciones

- Se recomienda al lector y personas interesadas en complementar esta información con investigaciones adicionales que consta, en ejecutar al menos 3 perforaciones con orientación de testigos en el Tajo Norte y que éstos sean complementados con registros de televiwer, en las paredes NE y SO, para interceptar las fallas L1 y NE2 para corroborar los ángulos de buzamiento y al menos 2 perforaciones en el Tajo Sur con orientación de testigos y registros de televiwer, en las paredes O y E; y así puedan interceptar las Fallas L1 y NE3.
- Se recomienda a la empresa contratista , para estudios geotécnicos a futuro realizar ensayos de mecánicas de rocas adicionales en las unidades Pórfido Monzonítico Biotítico, Diorita, Brecha magmática, Latita y Mármol mediante perforaciones dentro de las huellas de los tajos sur y norte para una adecuada caracterización de éstas, además ejecutar ensayos de carga puntual in situ durante las investigaciones futuras para todas las unidades con intervalos de ensayo cada 10 m y que estén próximas a ensayos UCS, de preferencia.

Bibliografía

- BIENIAWSKI, Z.T. (1989) *ENGINEERING ROCK MASS CLASSIFICATIONS*. Wiley. Nueva York.
- CARI, C. R. (2007). *ESTUDIO GEOTECNICO Y GEOGNOSTICO DEL SUB SUELO MEDIANTE PERFORACION DIAMANTINA*. LIMA: UNIVERSIDAD PARTICULAR RICARDO PALMA.
- Carrasco, F. (2003). *MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA EL REGISTRO GEOTECNICO DE SONDAJES*. Estado de Bolivar: Golder Associates S.A.
- CCAMA, F. G. (2016). *PROSPECCIÓN GEOLÓGICA DEL PROYECTO CUNUYO 2003, SINA - PUNO*. Puno: Universidad del Altiplano.
- FERRER, M. y GONZALES DE VALLEJO, L., Eds. (1999). Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos. IGME.
- GONZALEZ DE VALLEJO L. et al (2002) *"Ingeniería Geológica"*,
- Huaccán, A. H. (2001). *RIESGO VOLCÁNICO E HIDROTERMALISMO EN EL PERÚ*. Lima: INGEMMED.
- ISRM (1981). Métodos sugeridos para caracterización, prueba y monitoreo de rocas.
- MEJÍA, F. C. (2014). *ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA PARA LA CIMENTACIÓN DE LA PRESA DE RELAVES FRAYLONES ·PROYECTO LA ARENA· LA LIBERTAD*. Cajamarca: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA.
- PAIHUA, T. G. (2010). *DISEÑO DE MINAS A TAJO ABIERTO*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- PECHO, G. (1981). *Geología de los cuadrángulos de Chalhuanca*. Antabamba y Santo.
- RAMIREZ CARDENAS, J. (2008). *LOGUEO GEOLOGICO, GEOTECNICO, HIDROGEOLOGICO*. Lima: Universidad Privada del Norte.
- RICO, A. (1996). *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres: Carreteras, Ferrocarriles*.
- ROBLES, M. L. (2009). *CONTROL ESTRUCTURAL Y POTENCIAL EXPLORATORIO DEL DISTRITO MINERO CONGA, CAJAMARCA – PERÚ*. Lima: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA.
- SERNA, R. R. (2009). *PETROLOGIA Y GEOQUIMICA EN EL SKARN DE CU-AU DE LA MINA TINTAYA, CUSCO*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- TEVES, N. (1991). *Acuíferos Terciarios en el Perú*. Lima: Congreso Peruano de Geología.

ANEXOS

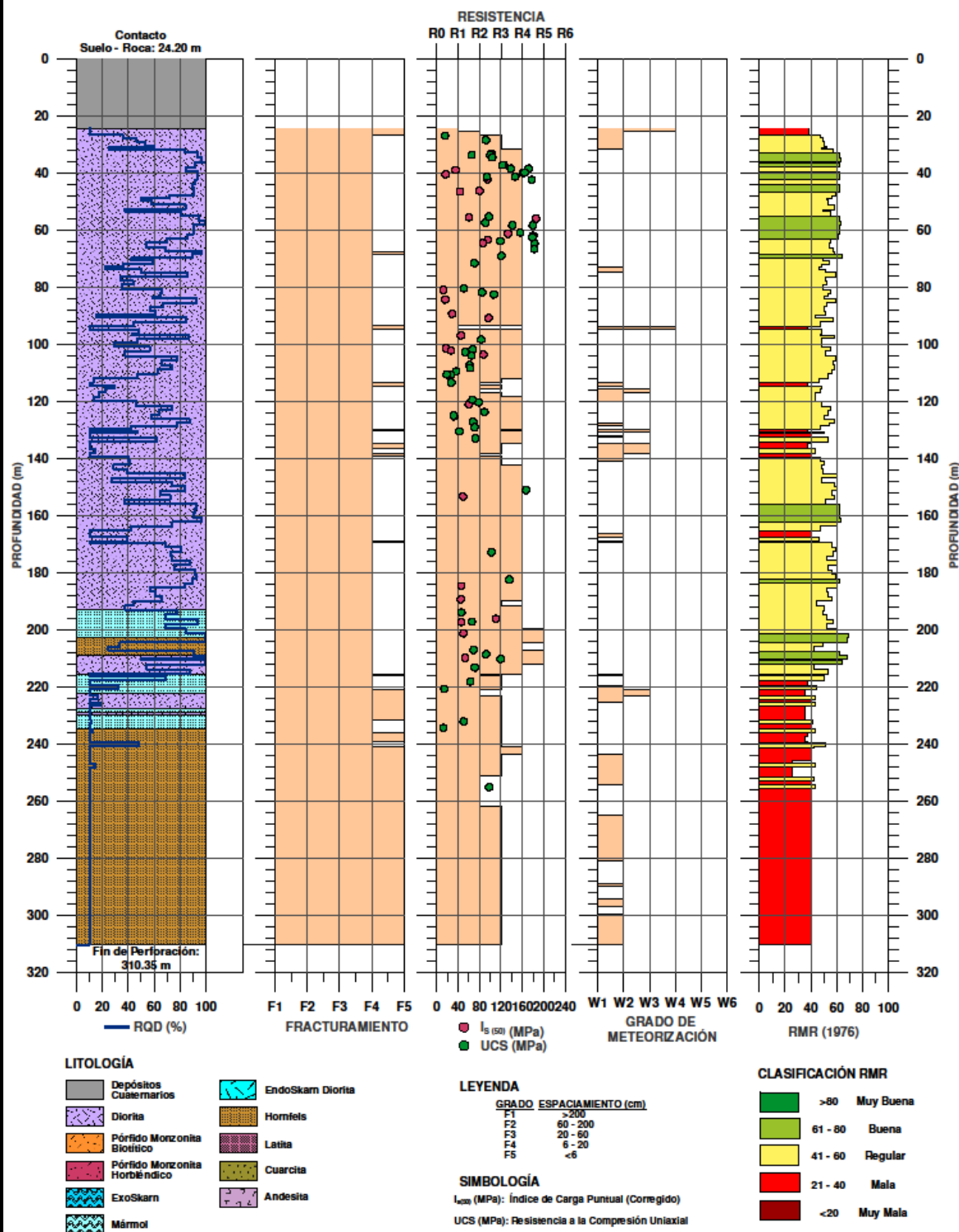
A. REGISTROS GEOMECANICOS

REGISTRO GEOMECÁNICO DE LA PERFORACIÓN: GEOT-P-01

PROYECTO: 169-415-4108
Estudio Geotécnico de Factibilidad del Tajo Corocchohuayco

UBICACIÓN: N: 8346076.00 E: 256176.19 ELEVACIÓN: 4092.68
INCLINACIÓN: -87° AZIMUTH: 14°

DATUM: WGS-84



REGISTRO GEOMECÁNICO DE LA PERFORACIÓN: GEOT-P-02

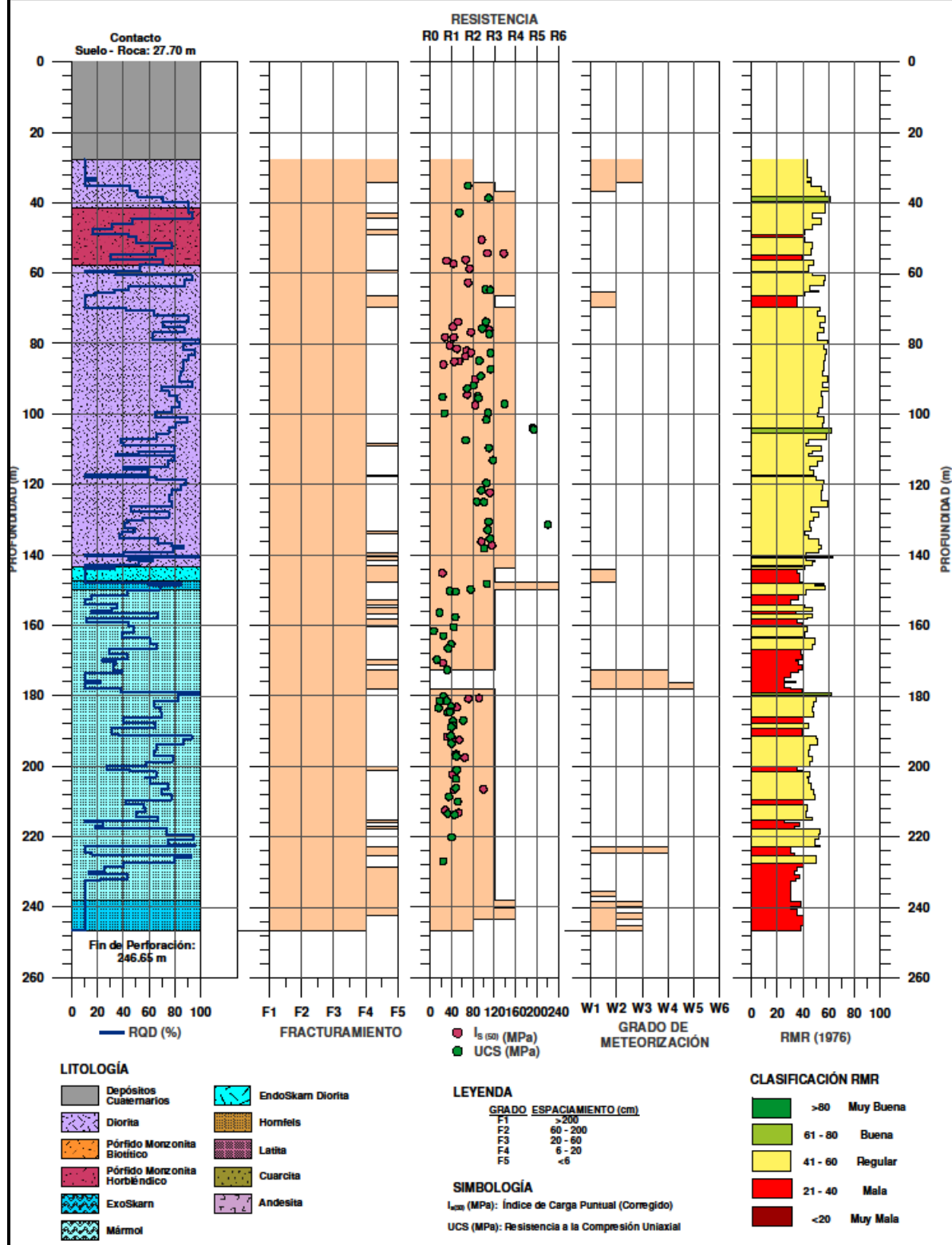
PROYECTO: 169-415-4108
Estudio Geotécnico de Factibilidad del Tajo Corocochuayco

UBICACIÓN: N: 8345747.77 E: 256089.42
INCLINACIÓN: -90°

DATUM: WGS-84

ELEVACIÓN: 4130.97

AZIMUTH: -

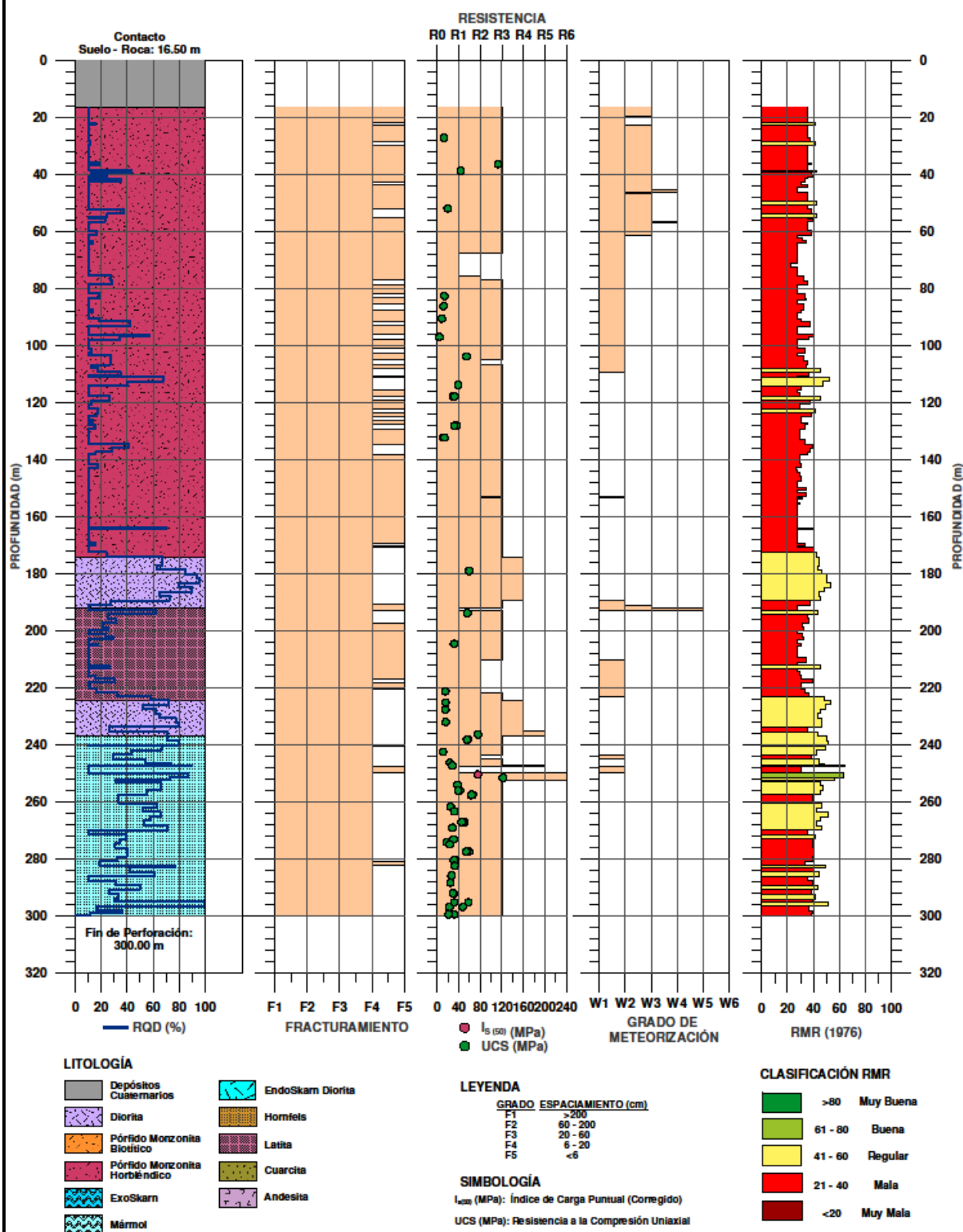


REGISTRO GEOMECÁNICO DE LA PERFORACIÓN: GEOT-P-03

PROYECTO: 169-415-4108
Estudio Geotécnico de Factibilidad del Tajo Corocohuayco

UBICACIÓN: N: 8346193.97 E: 256689.33 ELEVACIÓN: 4068.54
INCLINACIÓN: -90° AZIMUTH: -

DATUM: WGS-84

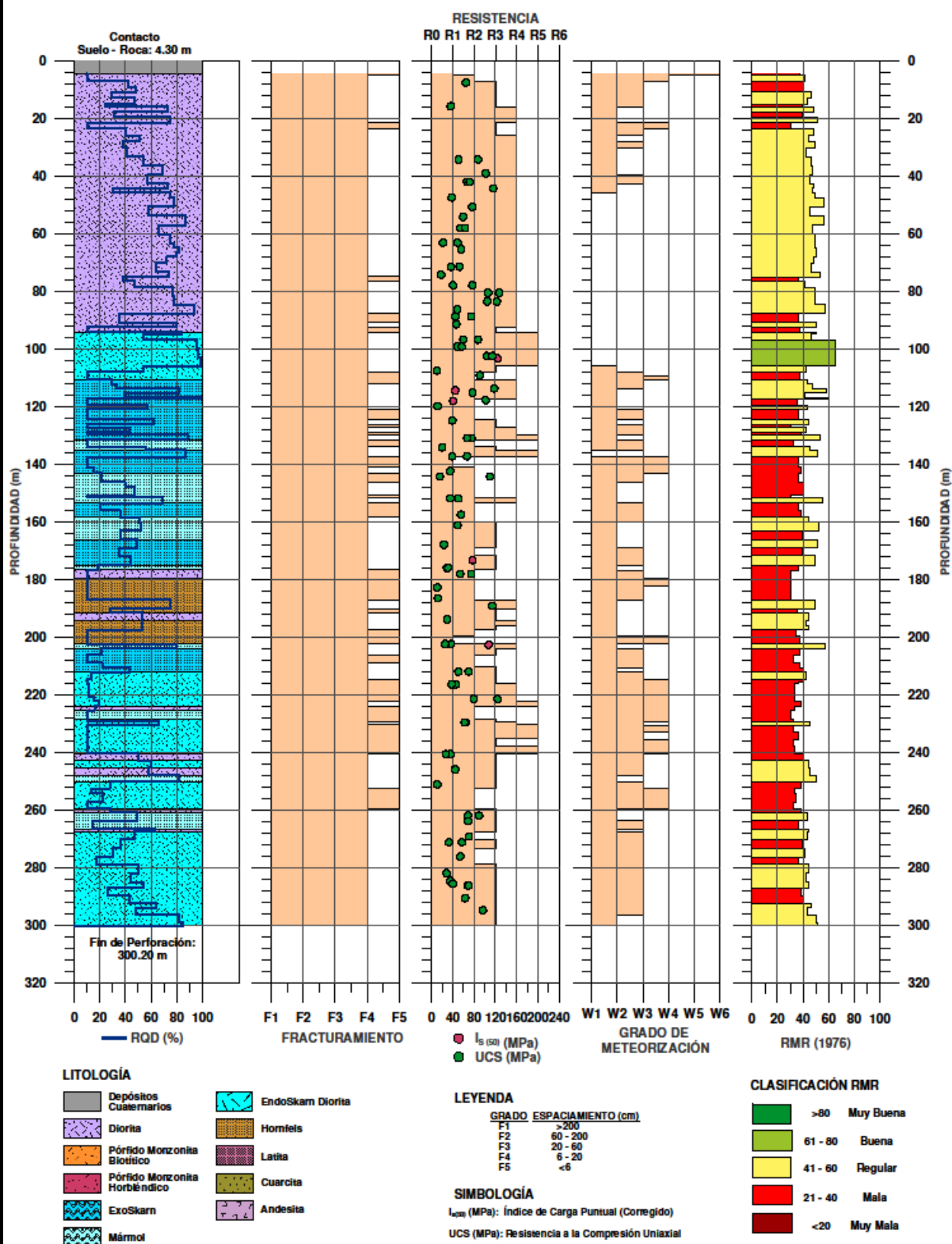


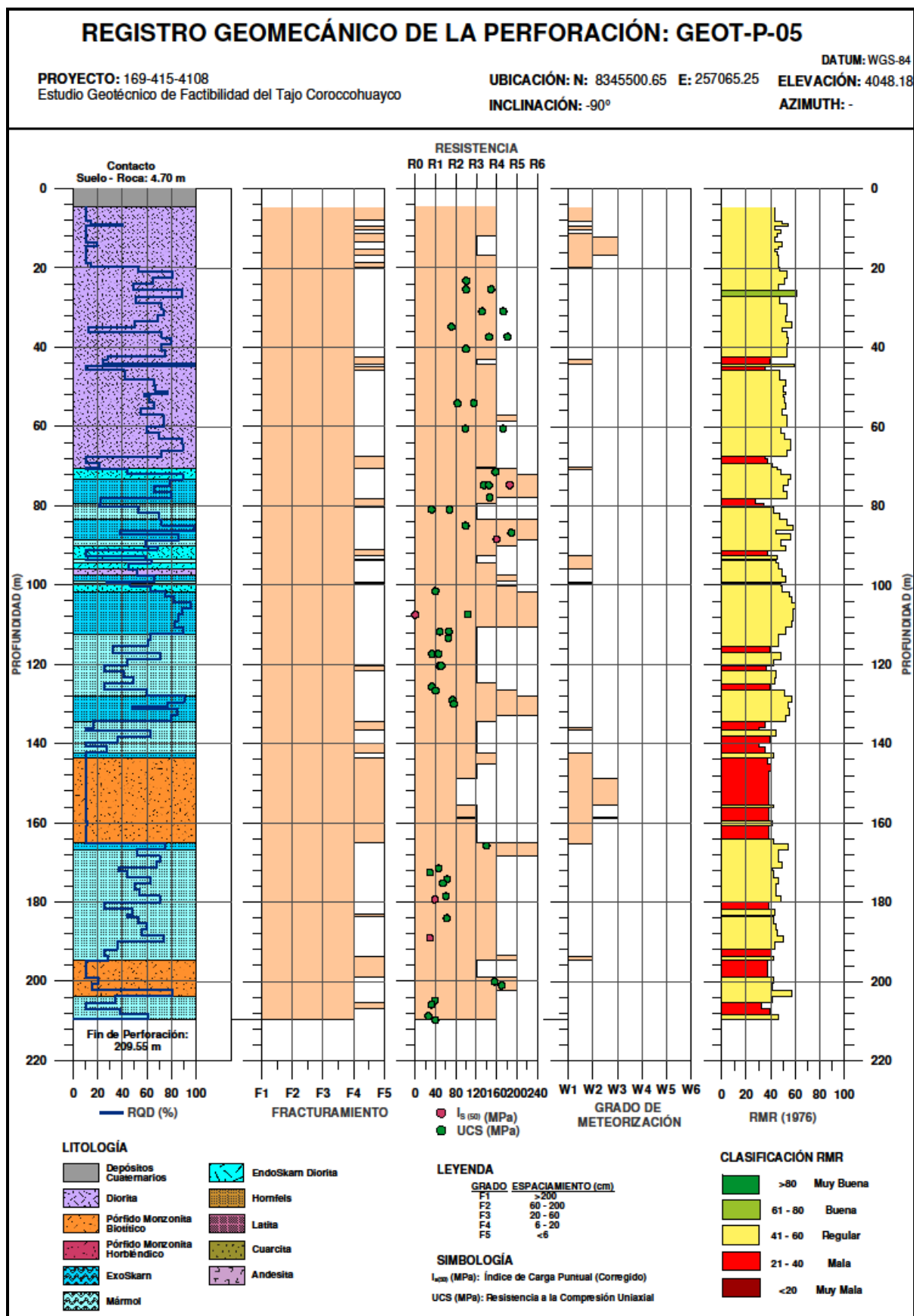
REGISTRO GEOMECÁNICO DE LA PERFORACIÓN: GEOT-P-04

PROYECTO: 169-415-4108
Estudio Geotécnico de Factibilidad del Tajo Corocohuayco

UBICACIÓN: N: 8346011.18 E: 257043.35 ELEVACIÓN: 4041.59
INCLINACIÓN: -90° AZIMUTH: -

DATUM: WGS-84



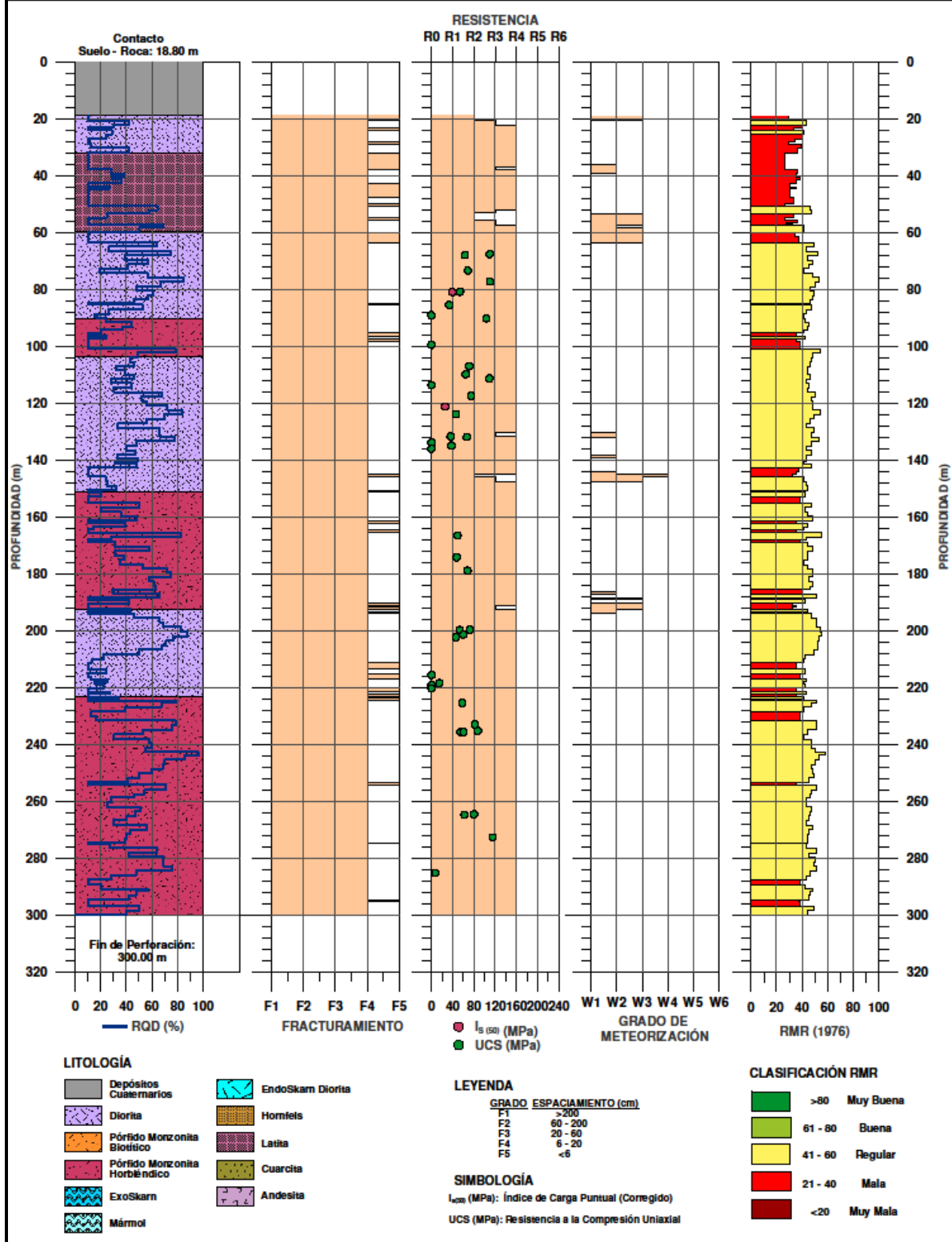


REGISTRO GEOMECÁNICO DE LA PERFORACIÓN: GEOT-P-06

PROYECTO: 169-415-4108
Estudio Geotécnico de Factibilidad del Tajo Coroccohuayco

UBICACIÓN: N: 8345191.04 E: 257256.78
INCLINACIÓN: -87°

DATUM: WGS-84
ELEVACIÓN: 4089.03
AZIMUTH: 309°



REGISTRO GEOMECÁNICO DE LA PERFORACIÓN: GEOT-P-07

PROYECTO: 169-415-4108

Estudio Geotécnico de Factibilidad del Tajo Coroccohuayco

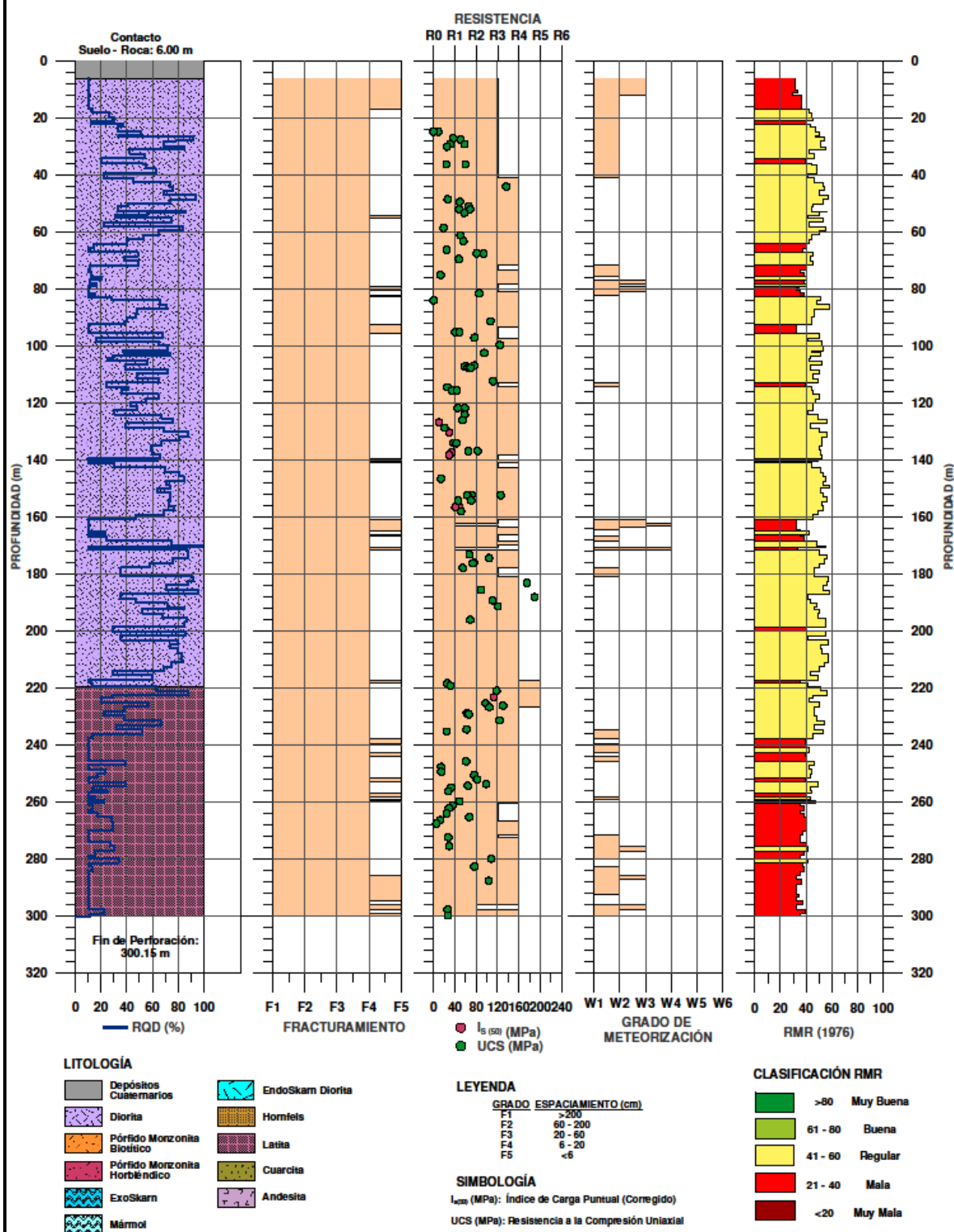
UBICACIÓN: N: 8344783.11 E: 257227.32

INCLINACIÓN: -87°

DATUM: WGS-84

ELEVACIÓN: 4105.03

AZIMUTH: 271°



REGISTRO GEOMECÁNICO DE LA PERFORACIÓN: GEOT-P-08

PROYECTO: 169-415-4108

Estudio Geotécnico de Factibilidad del Tajo Coroccohuayco

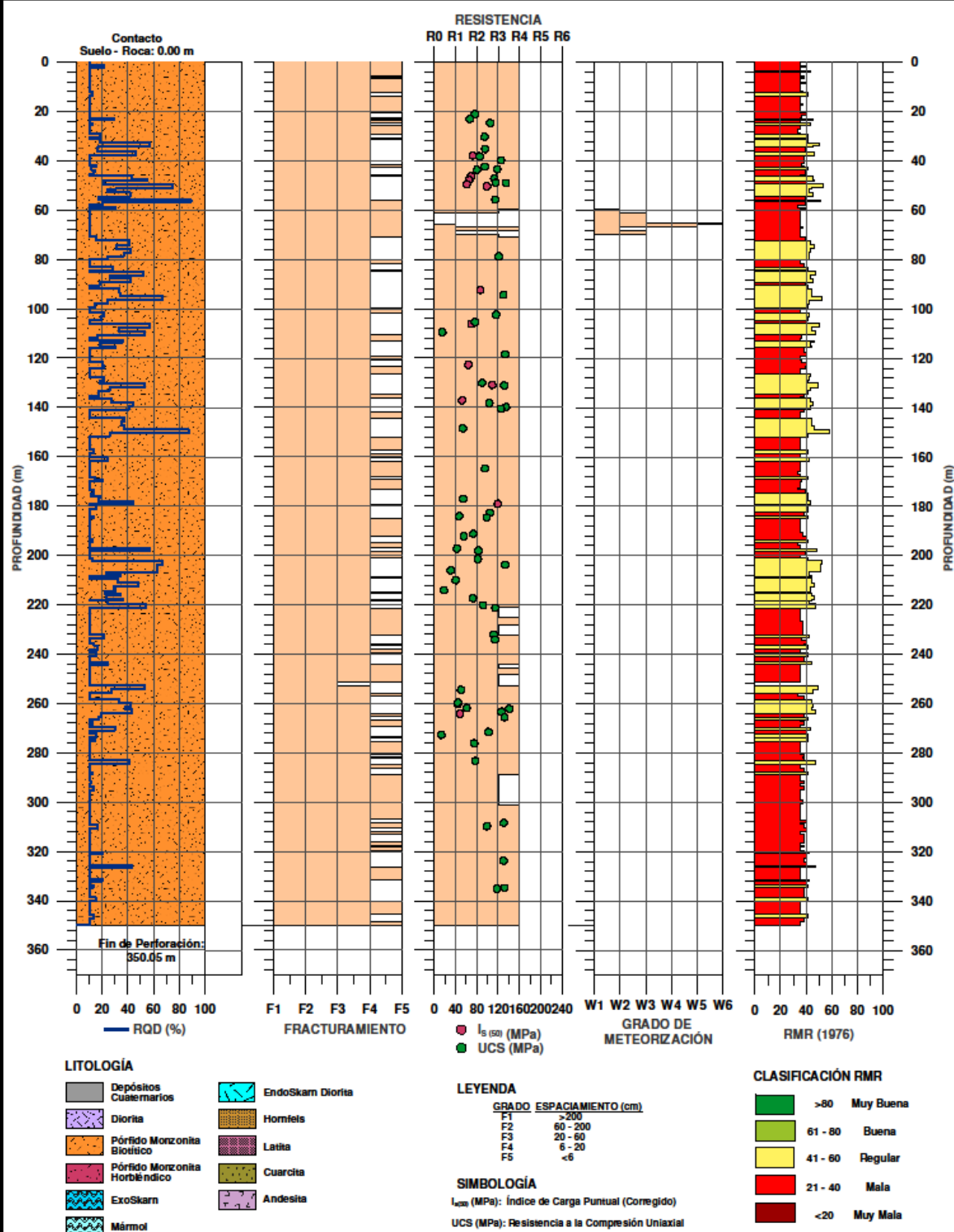
UBICACIÓN: N: 8344274.55 E: 257136.46

INCLINACIÓN: -90°

DATUM: WGS-84

ELEVACIÓN: 4110.60

AZIMUTH: -

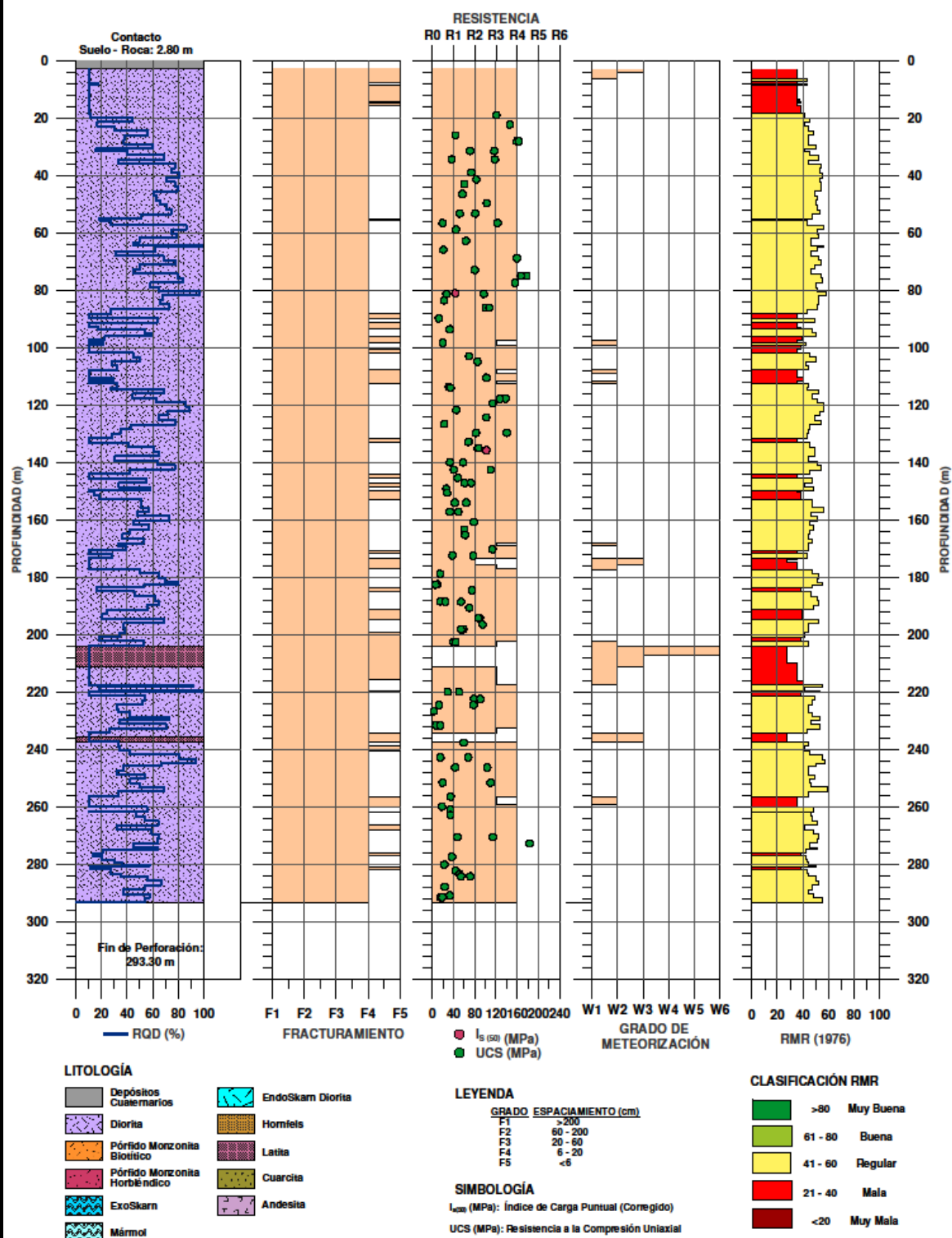


REGISTRO GEOMECÁNICO DE LA PERFORACIÓN: GEOT-P-09

PROYECTO: 169-415-4108
Estudio Geotécnico de Factibilidad del Tajo Coroccohuayco

UBICACIÓN: N: 8344128.87 E: 256651.99
INCLINACIÓN: -90°

DATUM: WGS-84
ELEVACIÓN: 4126.06
AZIMUTH: -

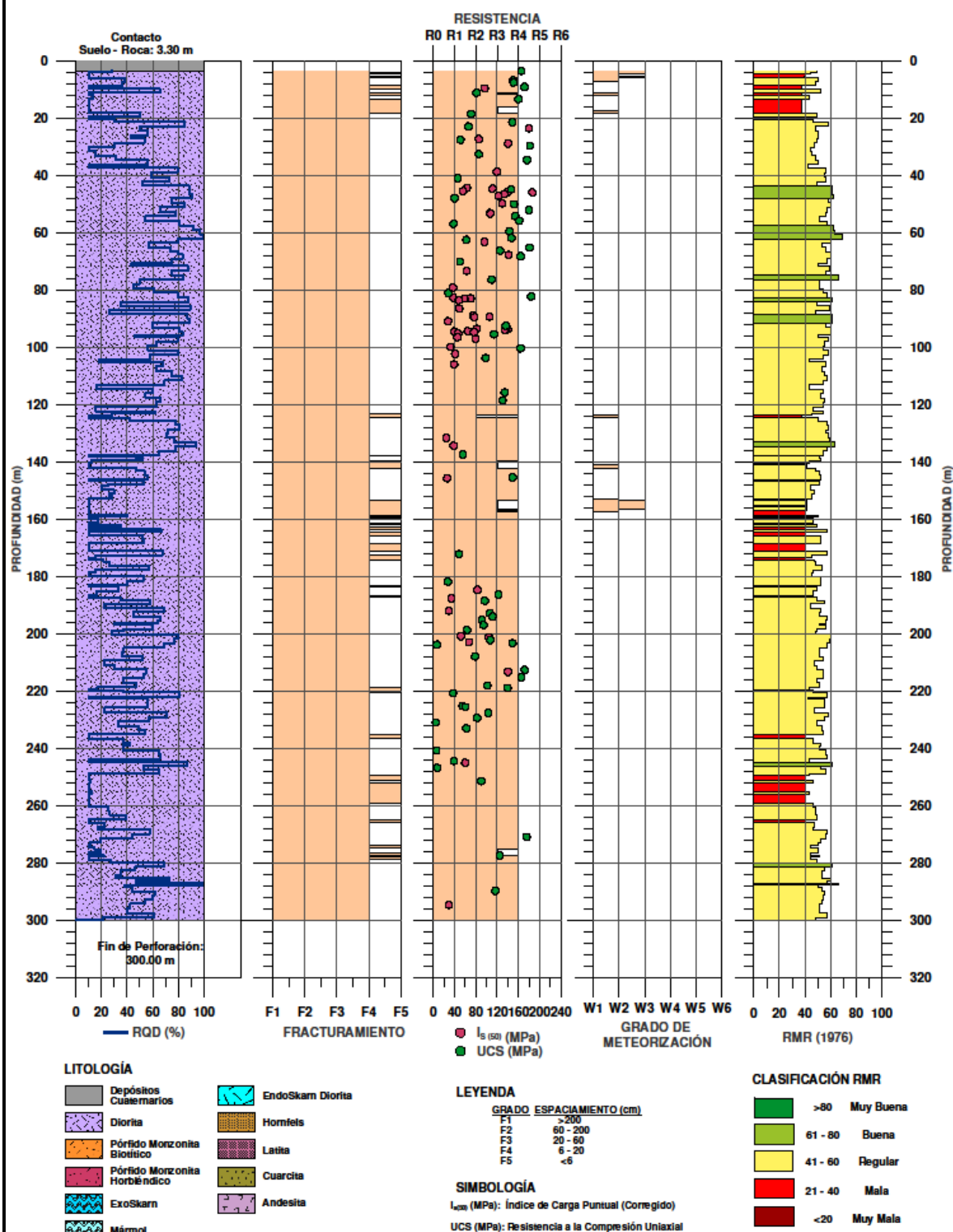


REGISTRO GEOMECÁNICO DE LA PERFORACIÓN: GEOT-P-10

PROYECTO: 169-415-4108
Estudio Geotécnico de Factibilidad del Tajo Coroccohuayco

UBICACIÓN: N: 8344337.46 E: 256253.37
INCLINACIÓN: -87°

DATUM: WGS-84
ELEVACIÓN: 4141.05
AZIMUTH: 310°



REGISTRO GEOMECÁNICO DE LA PERFORACIÓN: GEOT-P-11

PROYECTO: 169-415-4108

Estudio Geotécnico de Factibilidad del Tajo Coroccohuayco

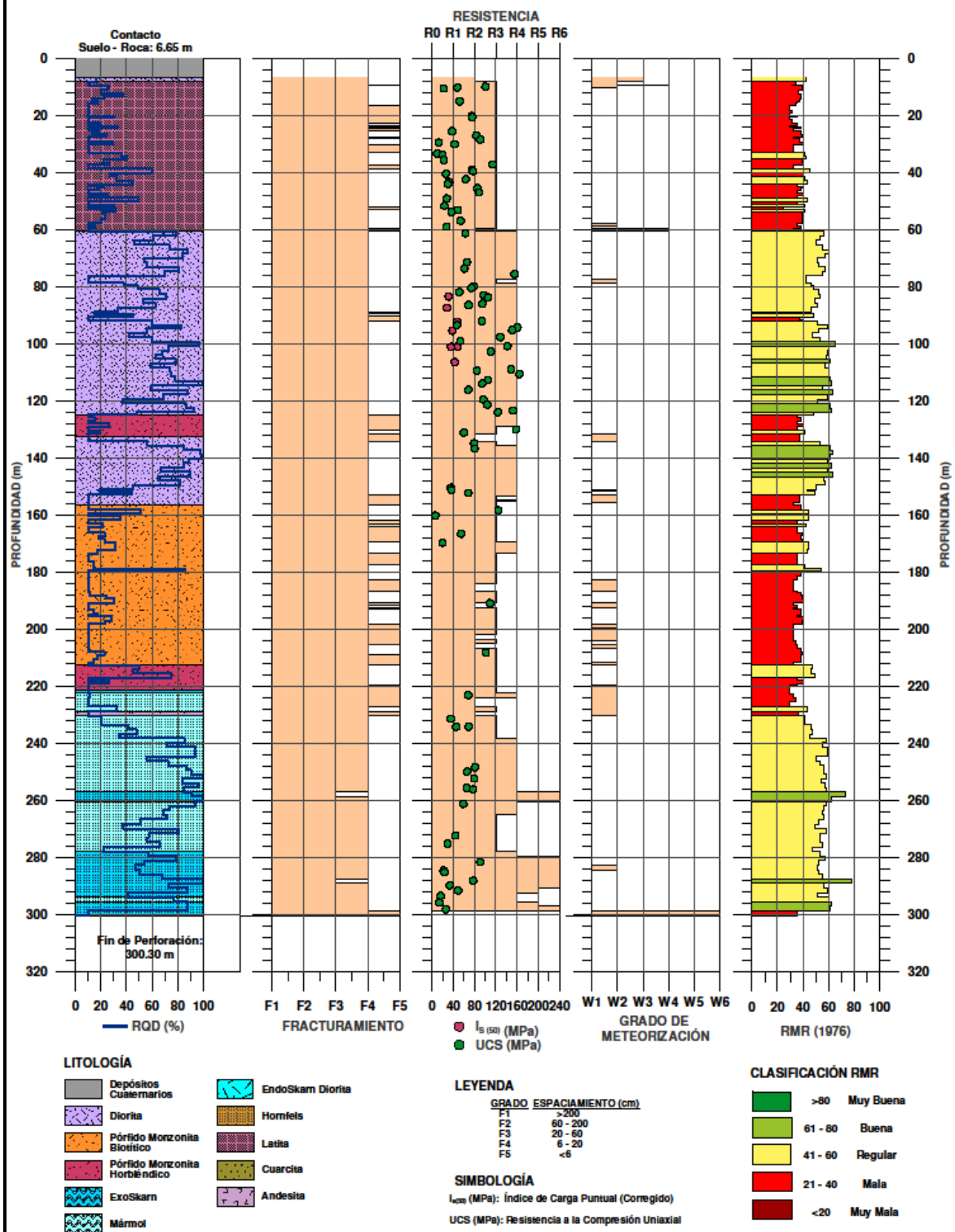
UBICACIÓN: N: 8345486.80 E: 256092.60

INCLINACIÓN: -87°

DATUM: WGS-84

ELEVACIÓN: 4123.70

AZIMUTH: 293°

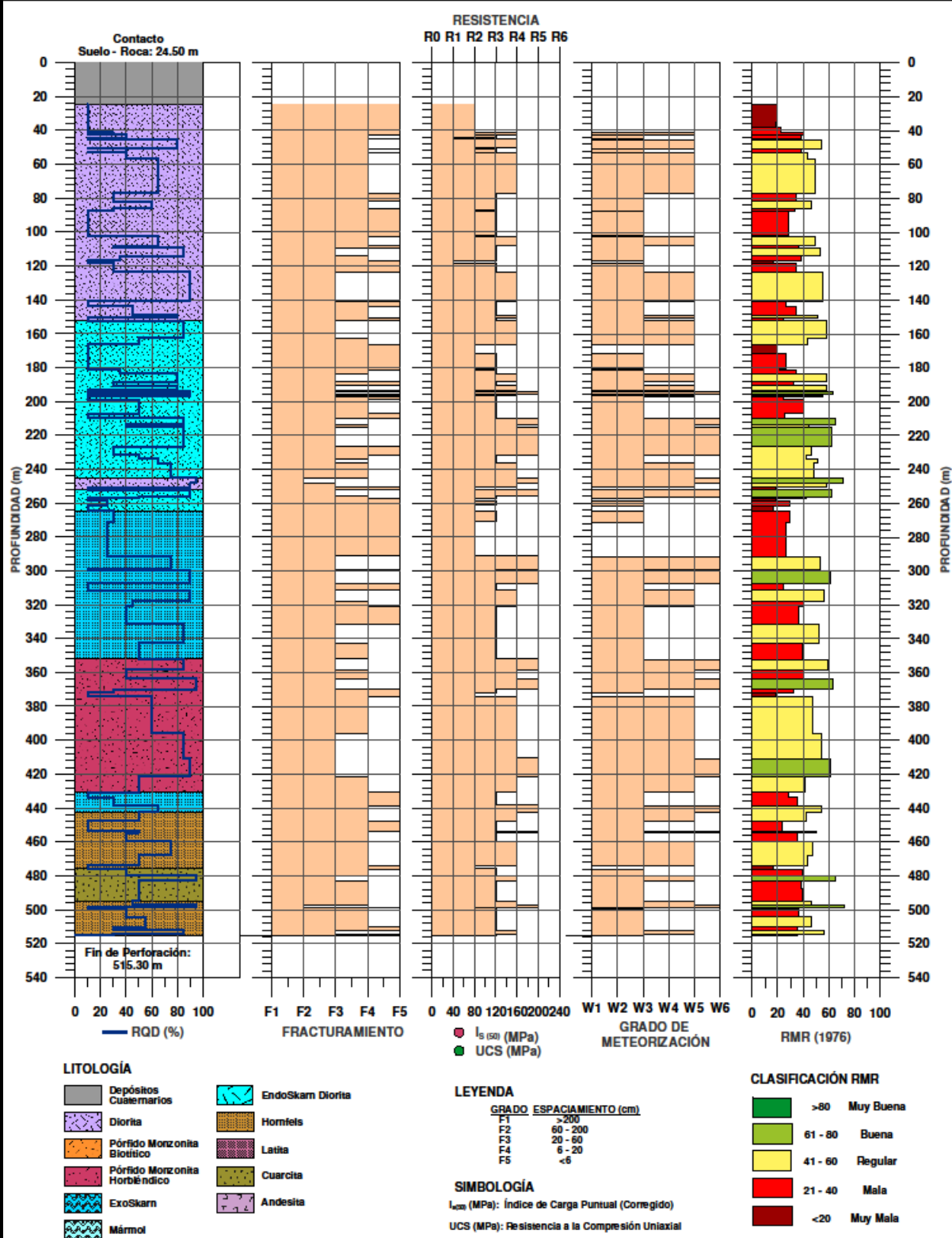


REGISTRO GEOMECÁNICO DE LA PERFORACIÓN: SOND-02

PROYECTO: 169-415-4108
Estudio Geotécnico de Factibilidad del Tajo Corocochuayco

UBICACIÓN: N: 8344861.09 E: 256668.96
INCLINACIÓN: -70°

DATUM: WGS-84
ELEVACIÓN: 4111.18
AZIMUTH: 335°

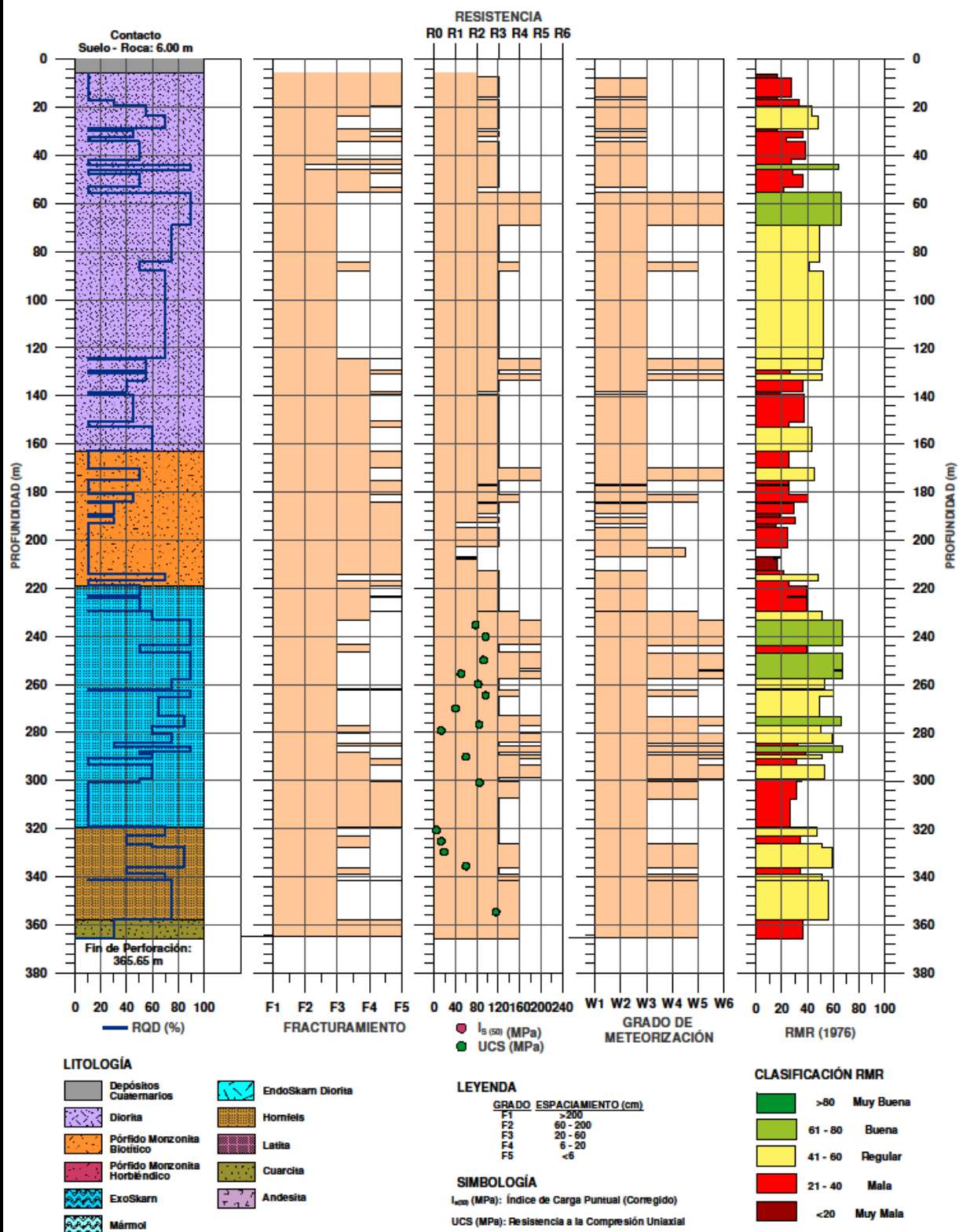


REGISTRO GEOMECÁNICO DE LA PERFORACIÓN: SOND-05

PROYECTO: 169-415-4108
Estudio Geotécnico de Factibilidad del Tajo Coroccohuayco

UBICACIÓN: N: 8345486.91 E: 256423.24
INCLINACIÓN: -90°

DATUM: WGS-84
ELEVACIÓN: 4092.78
AZIMUTH: -

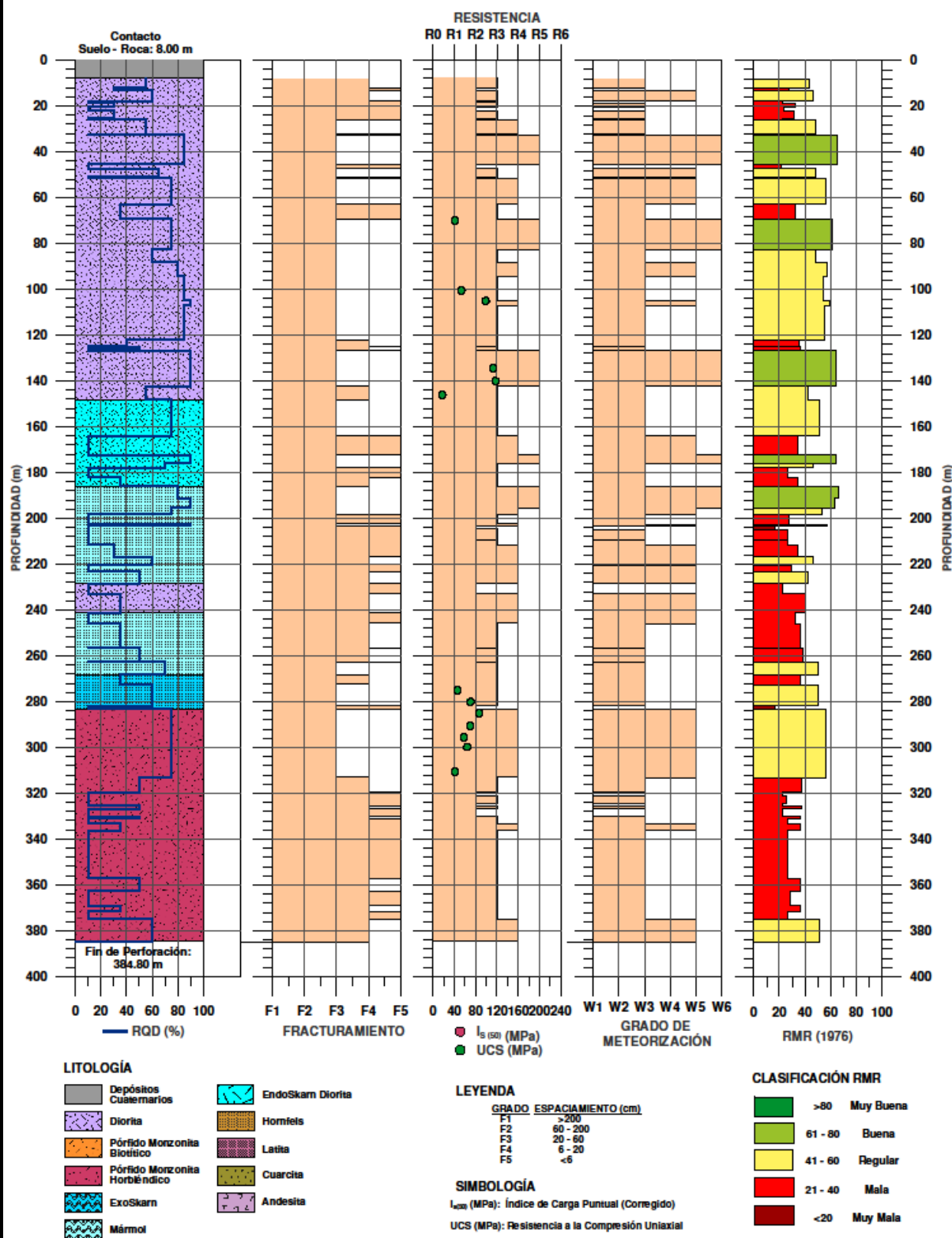


REGISTRO GEOMECÁNICO DE LA PERFORACIÓN: SOND-06

PROYECTO: 169-415-4108
Estudio Geotécnico de Factibilidad del Tajo Corocochuayco

UBICACIÓN: N: 8345637.10 E: 256290.82
INCLINACIÓN: -90°

DATUM: WGS-84
ELEVACIÓN: 4104.85
AZIMUTH: -

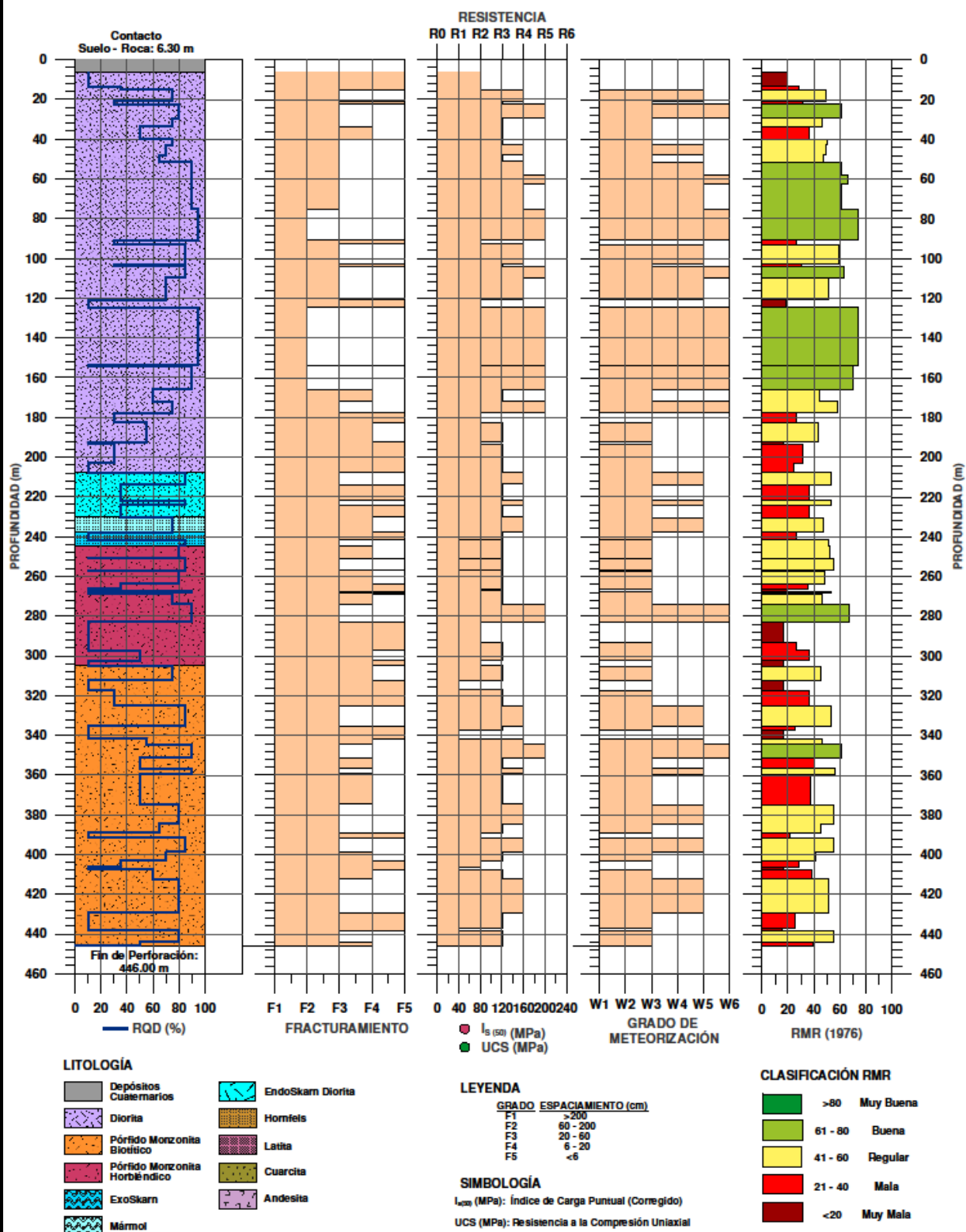


REGISTRO GEOMECÁNICO DE LA PERFORACIÓN: SOND-07

PROYECTO: 169-415-4108
Estudio Geotécnico de Factibilidad del Tajo Coroccohuayco

UBICACIÓN: N: 8345609.67 E: 256486.55
INCLINACIÓN: -70°

DATUM: WGS-84
ELEVACIÓN: 4085.43
AZIMUTH: 225°

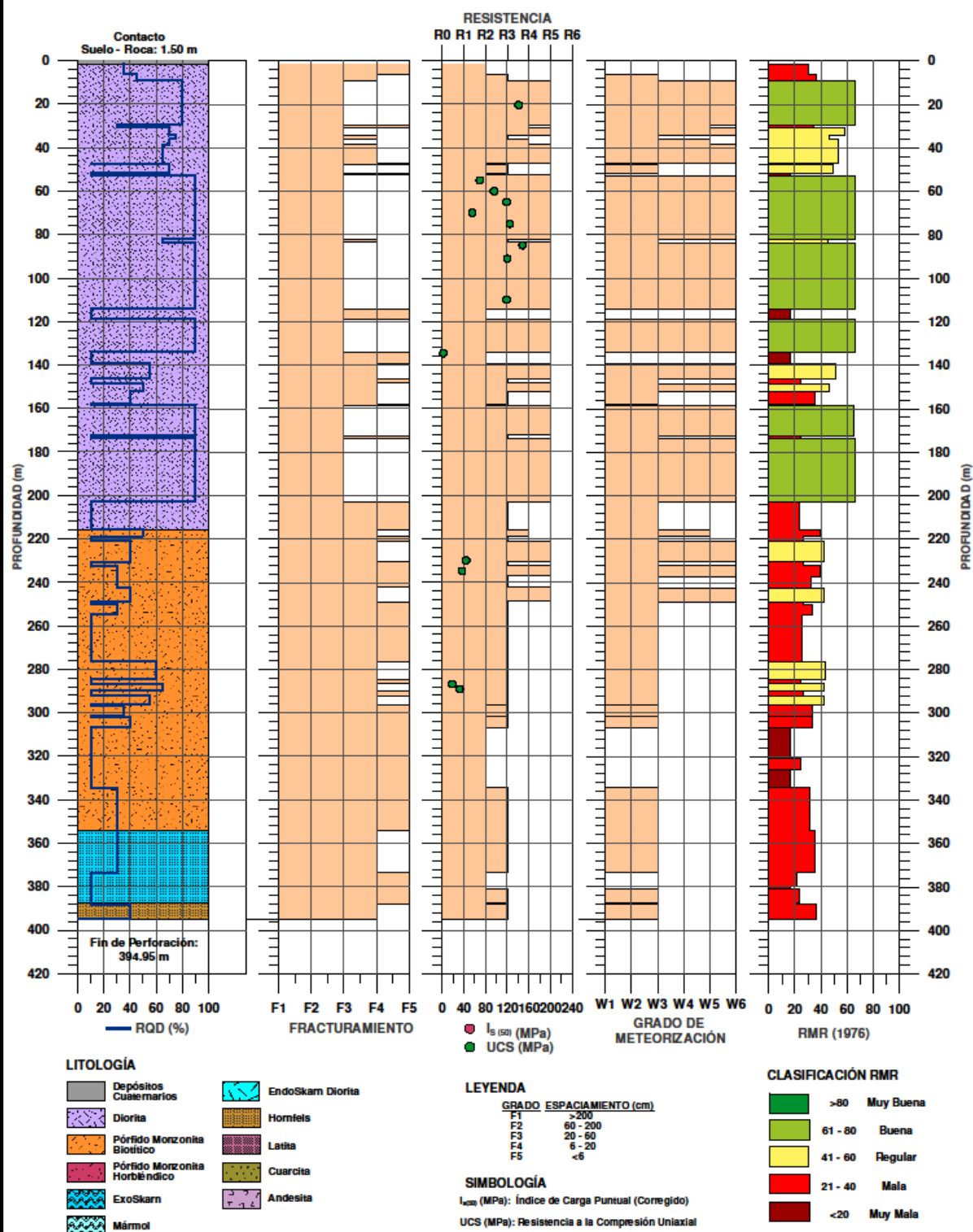


REGISTRO GEOMECÁNICO DE LA PERFORACIÓN: SOND-08

PROYECTO: 169-415-4108
Estudio Geotécnico de Factibilidad del Tajo Corocochuayco

UBICACIÓN: N: 8345696.24 E: 256642.79
INCLINACIÓN: -90°

DATUM: WGS-84
ELEVACIÓN: 4079.01
AZIMUTH: -

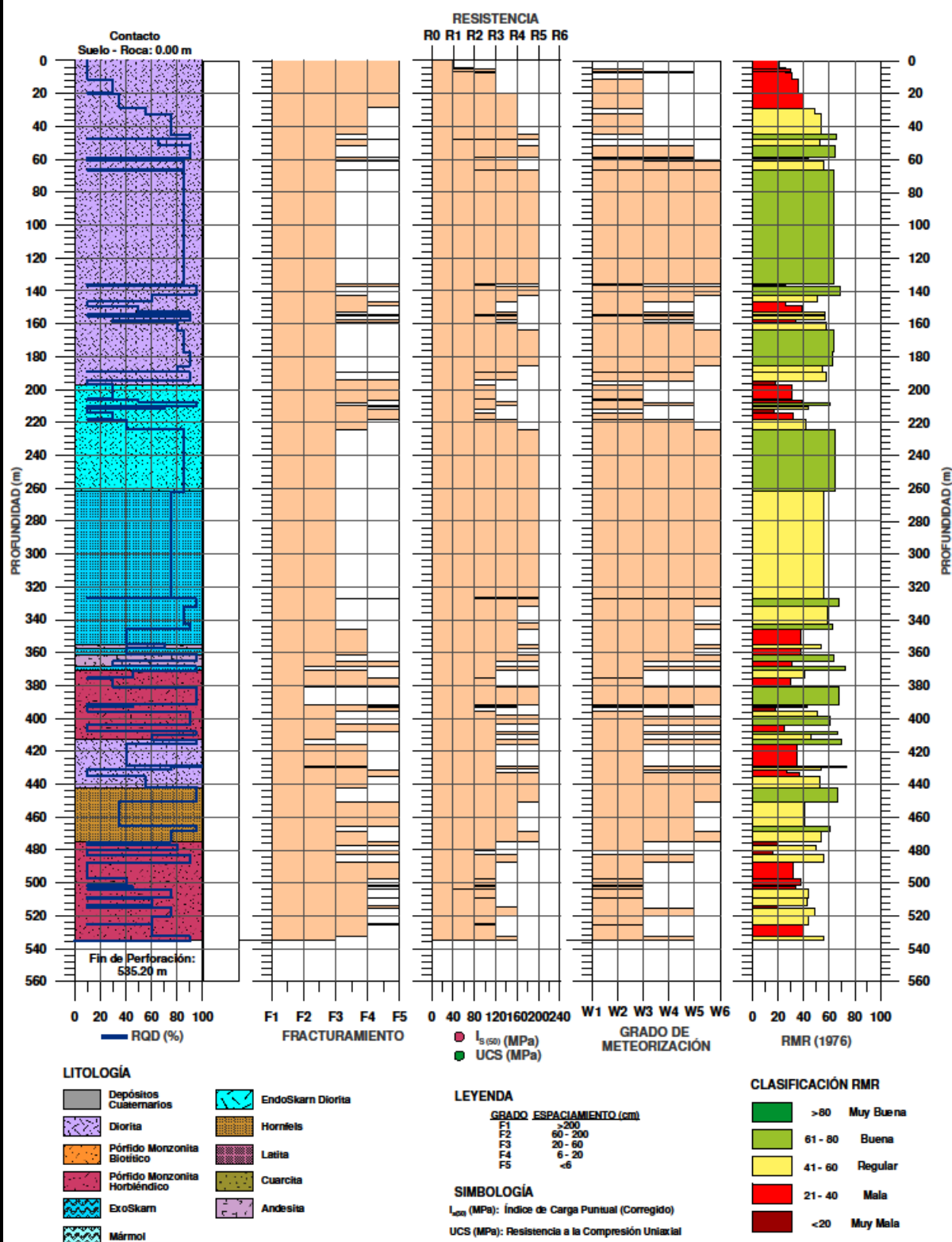


REGISTRO GEOMECÁNICO DE LA PERFORACIÓN: SOND-11

PROYECTO: 169-415-4108
Estudio Geotécnico de Factibilidad del Tajo Corocochuayco

UBICACIÓN: N: 8344996.06 E: 256584.00
INCLINACIÓN: -70°

DATUM: WGS-84
ELEVACIÓN: 4111.42
AZIMUTH: 105°



B. ANALISIS CINEMATICO

ANÁLISIS CINEMATICO TAJO NORTE

Análisis Cinemático (Información proporcionada por Antapaccay)

Tajo Norte – Dominio Estructural I - Dirección de Buzamiento N150° +/- 10°

- Falla Planar**
- Sistema con potencial de falla planar
 - Potencial de falla planar con variaciones en la orientación del talud

- Falla Tipo Cuña:**
- Intersección con potencial de falla tipo cuña
 - Intersección con potencial de falla tipo cuña con orientaciones en la pared del tajo

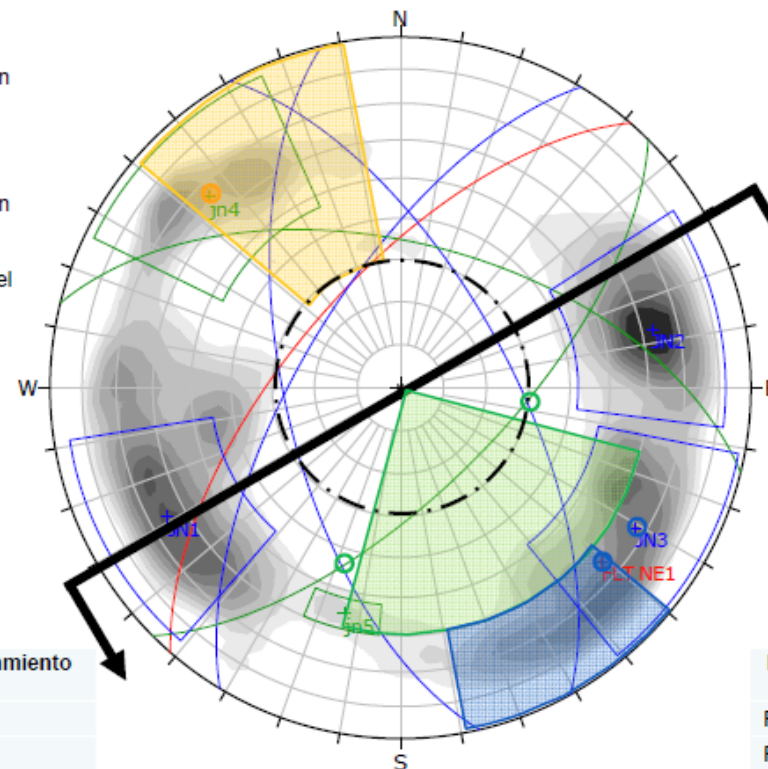
- Falla Tipo Vuelco**
- Sistema con potencial de falla tipo vuelco
 - Potencial de falla tipo vuelco con variaciones en la orientación del talud

↖ Dirección de Buzamiento promedio de pared del tajo

- Plano de Falla
- Plano de Sistema Principal
- Plano de Sistema Menor

Parámetros de Resistencia de Discontinuidades:
 ○ Ángulo de fricción = 30°
 ○ Cohesión = 0 kPa

Sistema ID	Buzamiento (°)	Dirección de Buzamiento (°)
JN1	65 ± 11	061 ± 12
JN2	63 ± 11	257 ± 11
JN3	67 ± 10	301 ± 29
jn4	66 ± 6	135 ± 9
jn5	56 ± 3	014 ± 5



Fallas Planares Potenciales

Sistema jn4 66°

Fallas Tipo Cuña Potenciales (FS < 1.2)

Set 1	Set 2	Plunge	Trend	FS _{seco}
JN1	jn4	60	96	0.4
JN2	jn4	45	198	0.9

Fallas Tipo Vuelco Potenciales

Variaciones del Sistema JN3 67°
 FLT NE1 65°

Fallas ID	Buzamiento (°)	Dirección de Buzamiento (°)
FLT L3	60	50
FLT L4	82	214
FLT NE1	65	311
FLT NE2	74	334
FLT NE3	58	138

Análisis Cinemático (Información proporcionada por Antapaccay)

Tajo Norte – Dominio Estructural II - Dirección de Buzamiento N220° +/- 10°

- Falla Planar**
- Sistema con potencial de falla planar
 - Potencial de falla planar con variaciones en la orientación del talud

- Falla Tipo Cuña:**
- Intersección con potencial de falla tipo cuña
 - Intersección con potencial de falla tipo cuña con orientaciones en la pared del tajo

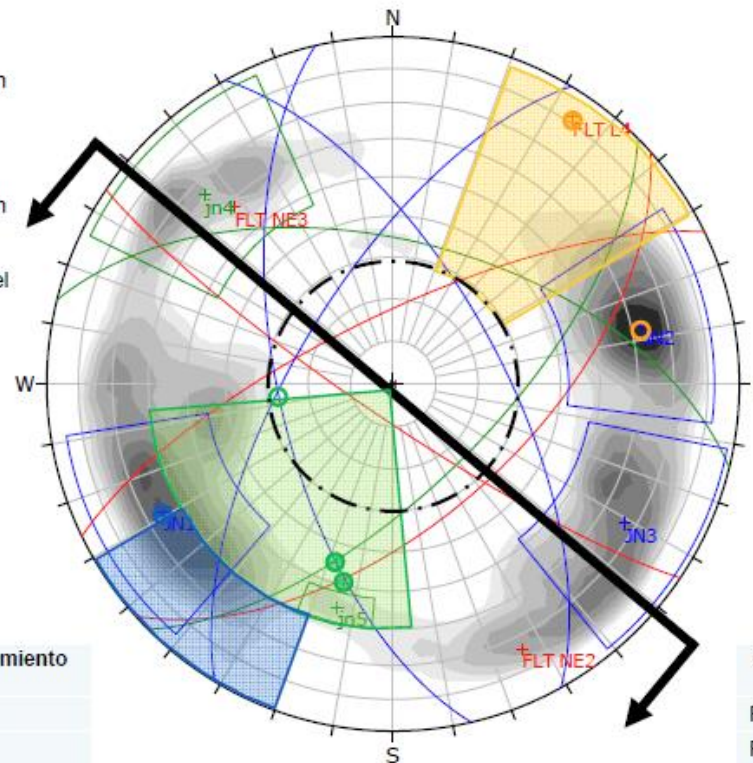
- Falla Tipo Vuelco**
- Sistema con potencial de falla tipo vuelco
 - Potencial de falla tipo vuelco con variaciones en la orientación del talud

↖ Dirección de Buzamiento promedio de pared del tajo

- Plano de Falla
- Plano de Sistema Principal
- Plano de Sistema Menor

Parámetros de Resistencia de Discontinuidades:
 ○ Ángulo de fricción = 30°
 ○ Cohesión = 0 kPa

Sistema ID	Buzamiento (°)	Dirección de Buzamiento (°)
JN1	65 ± 11	061 ± 12
JN2	63 ± 11	257 ± 11
JN3	67 ± 10	301 ± 29
jn4	66 ± 6	135 ± 9
jn5	56 ± 3	014 ± 5



Fallas Planares Potenciales

FLT L4 82°

Fallas Tipo Cuña Potenciales (FS < 1.3)

Set 1	Set 2	Plunge	Trend	FS _{Seco}
JN2	JN3	63	266	0.3
JN2	jn4	45	198	0.9
JN2	FLT NE3	42	194	1.0

Fallas Tipo Vuelco Potenciales

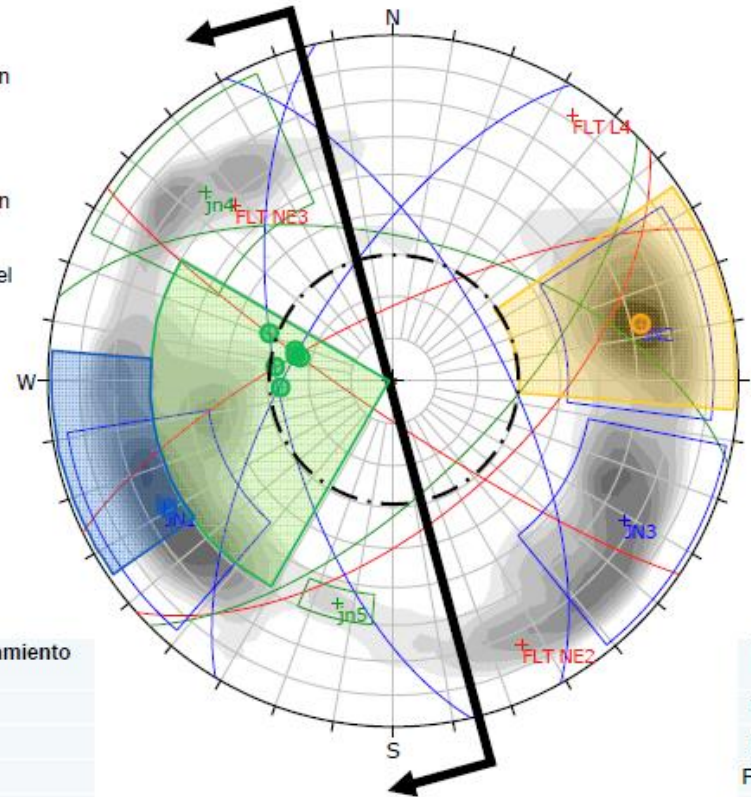
Sistema JN1 65°

Fallas ID	Buzamiento (°)	Dirección de Buzamiento (°)
FLT L3	60	50
FLT L4	82	214
FLT NE1	65	311
FLT NE2	74	334
FLT NE3	58	138

Análisis Cinemático (Información proporcionada por Antapaccay)

Tajo Norte – Dominio Estructural III - Dirección de Buzamiento N255° +/- 10°

- Falla Planar**
- Sistema con potencial de falla planar
 - Potencial de falla planar con variaciones en la orientación del talud
- Falla Tipo Cuña:**
- Intersección con potencial de falla tipo cuña
 - Intersección con potencial de falla tipo cuña con orientaciones en la pared del tajo
- Falla Tipo Vuelco**
- Sistema con potencial de falla tipo vuelco
 - Potencial de falla tipo vuelco con variaciones en la orientación del talud
- ↖ Dirección de Buzamiento promedio de pared del tajo
- Plano de Falla
- Plano de Sistema Principal
- Plano de Sistema Menor
- Parámetros de Resistencia de Discontinuidades:**
- Ángulo de fricción = 30°
- Cohesión = 0 kPa



Sistema ID	Buzamiento (°)	Dirección de Buzamiento (°)
JN1	65 ± 11	061 ± 12
JN2	63 ± 11	257 ± 11
JN3	67 ± 10	301 ± 29
jn4	66 ± 6	135 ± 9
jn5	56 ± 3	014 ± 5

Fallas Planares Potenciales

Sistema JN2 63°

Fallas Tipo Cuña Potenciales(FS<1.3)

Set 1	Set 2	Plunge	Trend	FS _{Seco}
JN2	JN3	63	266	0.3
JN2	FLT L4	59	291	0.7
JN2	FLT NE2	62	276	0.4
JN3	FLT L4	66	285	0.3
JN3	FLT NE2	66	284	0.5

Fallas Tipo Vuelco Potenciales

Sistema JN1 65°

Fallas ID	Buzamiento (°)	Dirección de Buzamiento (°)
FLT L3	60	50
FLT L4	82	214
FLT NE1	65	311
FLT NE2	74	334
FLT NE3	58	138

Análisis Cinemático (Información proporcionada por Antapaccay)

Tajo Norte – Dominio Estructural IV - Dirección de Buzamiento N315° +/- 10°

- Falla Planar**
- ⊕ Sistema con potencial de falla planar
 - Potencial de falla planar con variaciones en la orientación del talud

Falla Tipo Cuña:

- ⊕ Intersección con potencial de falla tipo cuña
- Intersección con potencial de falla tipo cuña con orientaciones en la pared del tajo

Falla Tipo Vuelco

- ⊕ Sistema con potencial de falla tipo vuelco
- Potencial de falla tipo vuelco con variaciones en la orientación del talud

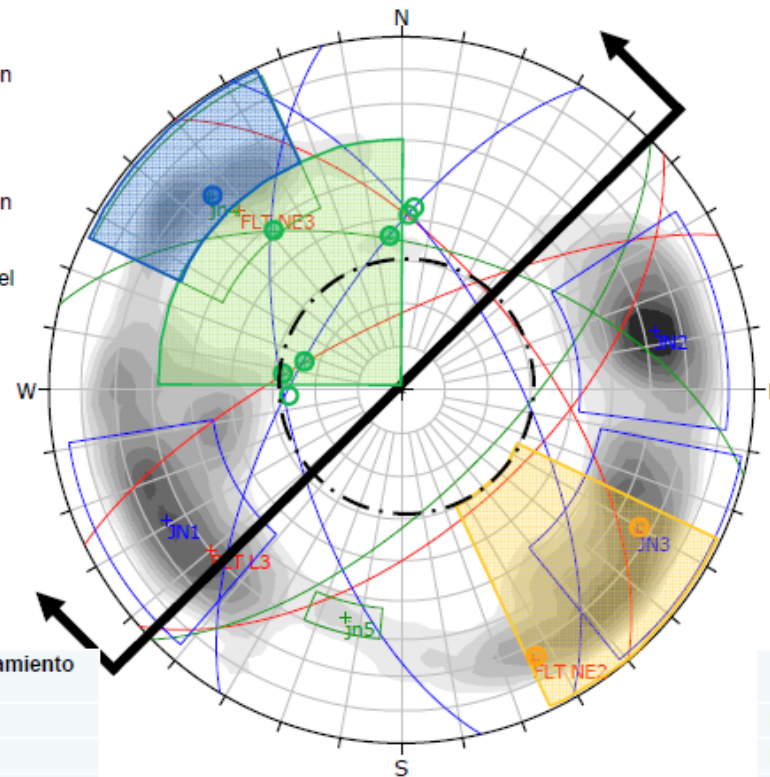
↖ Dirección de Buzamiento promedio de pared del tajo

- Plano de Falla
- Plano de Sistema Principal
- Plano de Sistema Menor

Parámetros de Resistencia de Discontinuidades:

- ⊖ Ángulo de fricción = 30°
- ⊖ Cohesión = 0 kPa

Sistema ID	Buzamiento (°)	Dirección de Buzamiento (°)
JN1	65 ± 11	061 ± 12
JN2	63 ± 11	257 ± 11
JN3	67 ± 10	301 ± 29
jn4	66 ± 6	135 ± 9
jn5	56 ± 3	014 ± 5



Fallas Planares Potenciales

Sistema JN3 67°
FLT NE2 74°

Fallas Tipo Cuña Potenciales (FS < 1.3)

Set 1	Set 2	Plunge	Trend	FS _{Seco}
JN1	JN3	48	3	0.8
JN2	JN3	63	266	0.3
JN2	jn5	41	320	1.0
JN2	FLT NE2	62	276	0.4
JN3	jn5	54	355	0.5
JN3	FLT L3	49	2	0.7
JN3	FLT NE2	66	284	0.5

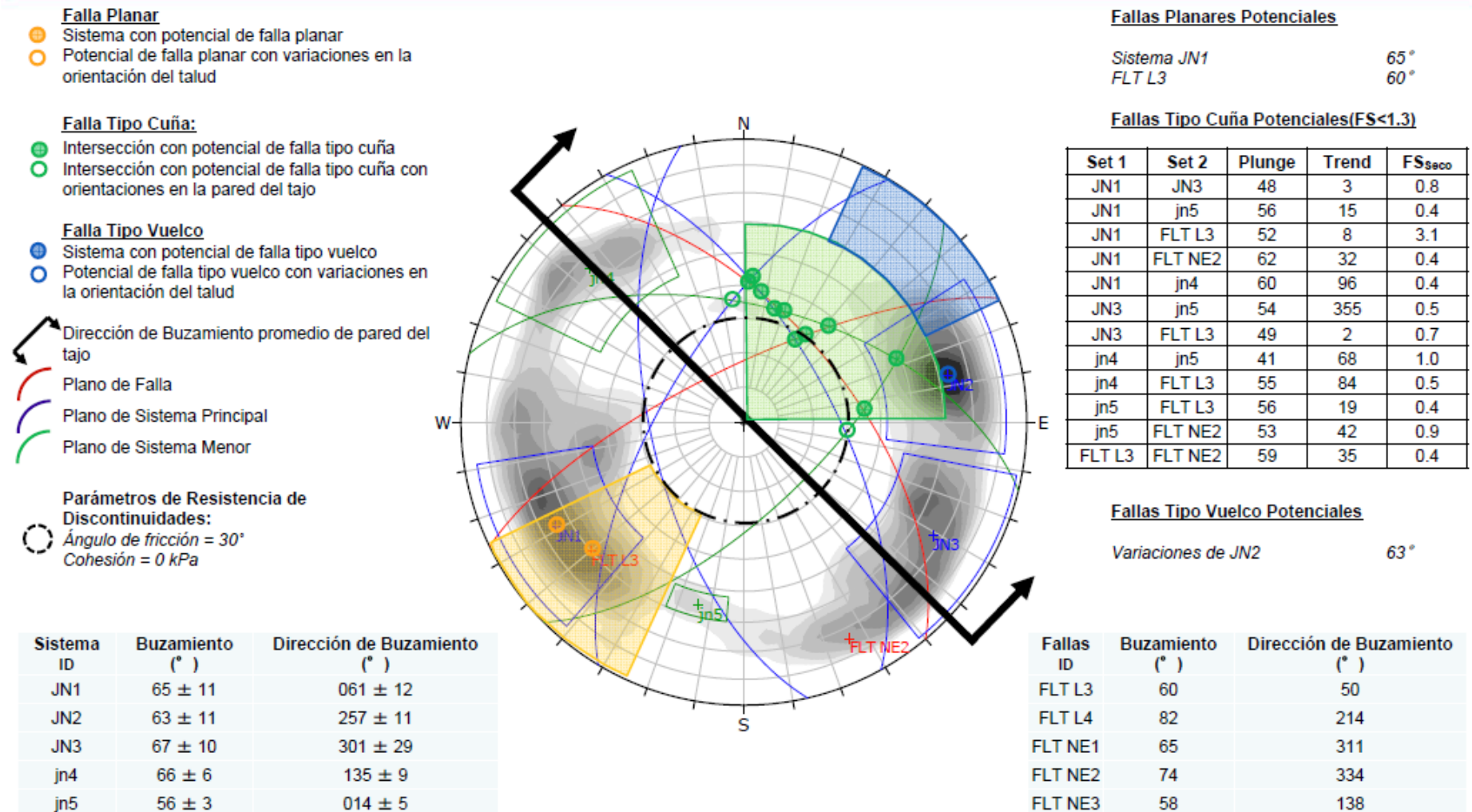
Fallas Tipo Vuelco Potenciales

Sistema jn4 66°

Fallas ID	Buzamiento (°)	Dirección de Buzamiento (°)
FLT L3	60	50
FLT L4	82	214
FLT NE1	65	311
FLT NE2	74	334
FLT NE3	58	138

Análisis Cinemático (Información proporcionada por Antapaccay)

Tajo Norte – Dominio Estructural V - Dirección de Buzamiento N045° +/- 10°

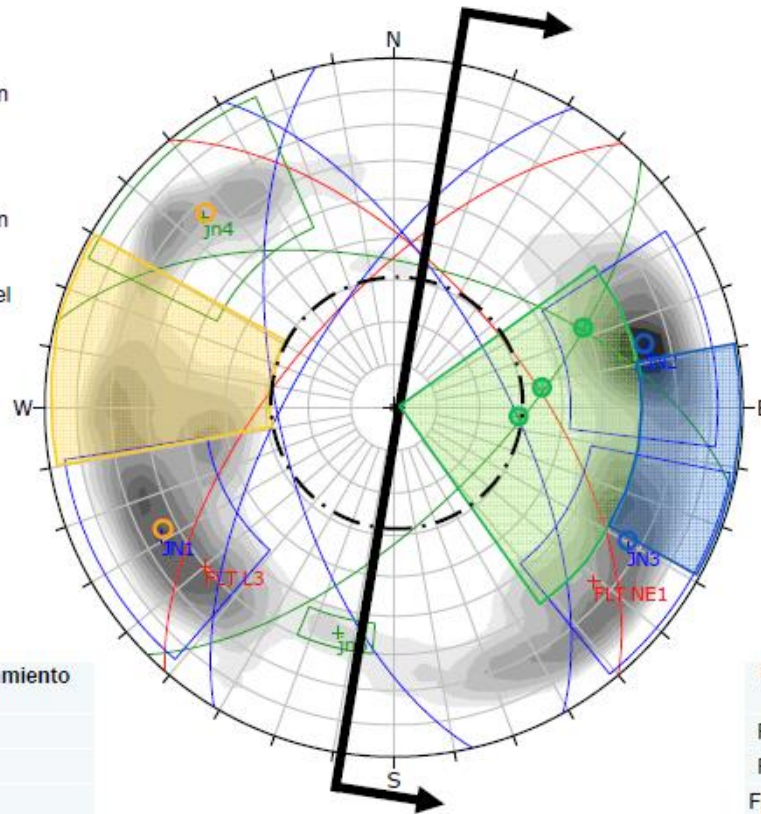


Análisis Cinemático (Información proporcionada por Antapaccay)

Tajo Norte – Dominio Estructural VI - Dirección de Buzamiento N100° +/- 10°



Sistema ID	Buzamiento (°)	Dirección de Buzamiento (°)
JN1	65 ± 11	061 ± 12
JN2	63 ± 11	257 ± 11
JN3	67 ± 10	301 ± 29
jn4	66 ± 6	135 ± 9
jn5	56 ± 3	014 ± 5



Fallas Planares Potenciales

No se observan Fallas Planares

Fallas Tipo Cuña Potenciales (FS < 1.3)

Set 1	Set 2	Plunge	Trend	FS _{seco}
JN1	jn4	60	96	0.4
jn4	jn5	41	68	1.0
jn4	FLT L3	55	84	0.5

Fallas Tipo Vuelco Potenciales

Variaciones de JN2 63°
Variaciones de JN# 67°

Fallas ID	Buzamiento (°)	Dirección de Buzamiento (°)
FLT L3	60	50
FLT L4	82	214
FLT NE1	65	311
FLT NE2	74	334
FLT NE3	58	138

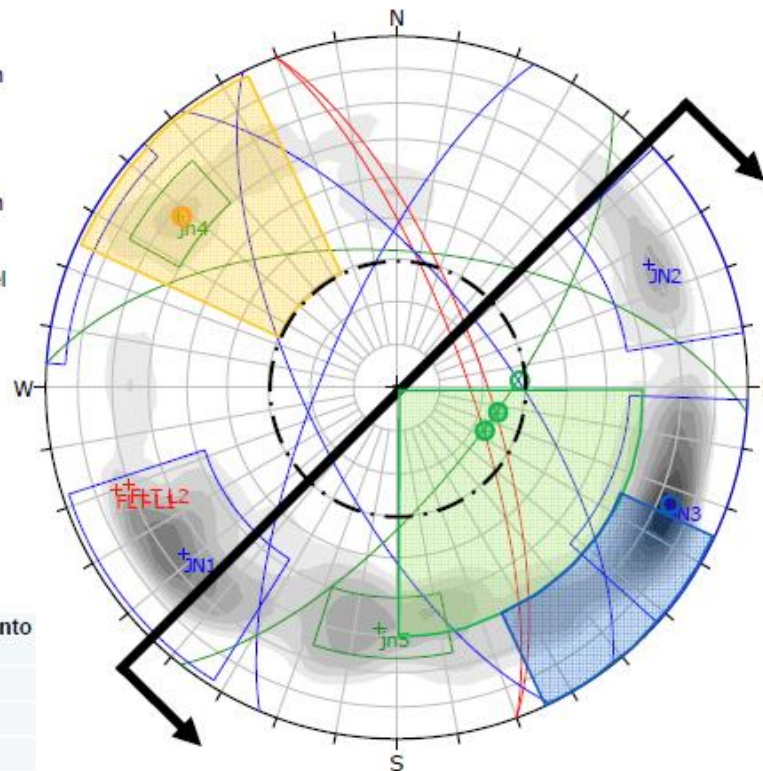
ANÁLISIS CINEMATICO TAJO SUR

Análisis Cinemático (Información proporcionada por Antapaccay)

Tajo Sur– Dominio Estructural I - Dirección de Buzamiento N135° +/- 10°

- Falla Planar**
- Sistema con potencial de falla planar
 - Potencial de falla planar con variaciones en la orientación del talud
- Falla Tipo Cuña:**
- Intersección con potencial de falla tipo cuña
 - Intersección con potencial de falla tipo cuña con orientaciones en la pared del tajo
- Falla Tipo Vuelco**
- Sistema con potencial de falla tipo vuelco
 - Potencial de falla tipo vuelco con variaciones en la orientación del talud
- ↖ Dirección de Buzamiento promedio de pared del tajo
- Plano de Falla
- Plano de Sistema Principal
- Plano de Sistema Menor
- Parámetros de Resistencia de Discontinuidades:**
- Ángulo de fricción = 30°
- Cohesión = 0 kPa

Sistema ID	Buzamiento (°)	Dirección de Buzamiento (°)
JN1	66 ± 9	052 ± 11
JN2	69 ± 9	244 ± 11
JN3	73 ± 9	293 ± 29
jn4	68 ± 5	128 ± 5
jn5	58 ± 5	004 ± 6



Fallas Planares potenciales

Sistema jn4	68°
Variaciones de Sistema JN3	73°

Potential Wedge Failures (FS<1.3)

Set 1	Set 2	Plunge	Trend	FS _{Saco}
JN1	jn4	62	86	0.4
jn4	FLT L1	68	116	0.3
jn4	FLT L2	66	104	0.3

Fallas Tipo Vuelco potenciales

Variaciones de Sistema JN3	73°
----------------------------	-----

Fallas ID	Buzamiento (°)	Dirección de Buzamiento (°)
FLT L1	74	70
FLT L2	70	70
FLT NE3	58	138
FLT NE3.5	19	292
FLT E-W	85	360

Análisis Cinemático (Información proporcionada por Antapaccay)

Tajo Sur– Dominio Estructural II - Dirección de Buzamiento N185° +/- 10°

Falla Planar

- Sistema con potencial de falla planar
- Potencial de falla planar con variaciones en la orientación del talud

Falla Tipo Cuña:

- Intersección con potencial de falla tipo cuña
- Intersección con potencial de falla tipo cuña con orientaciones en la pared del tajo

Falla Tipo Vuelco

- Sistema con potencial de falla tipo vuelco
- Potencial de falla tipo vuelco con variaciones en la orientación del talud

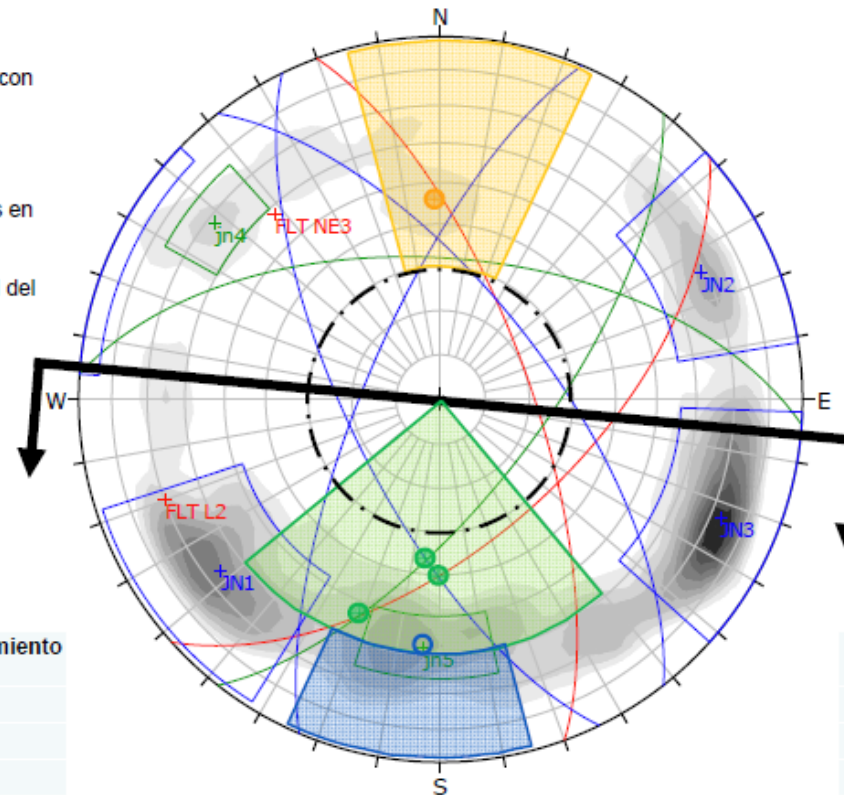
↖ Dirección de Buzamiento promedio de pared del tajo

- Plano de Falla
- Plano de Sistema Principal
- Plano de Sistema Menor

Parámetros de Resistencia de Discontinuidades:

- Ángulo de fricción = 30°
- Cohesión = 0 kPa

Sistema ID	Buzamiento (°)	Dirección de Buzamiento (°)
JN1	66 ± 9	052 ± 11
JN2	69 ± 9	244 ± 11
JN3	73 ± 9	293 ± 29
jn4	68 ± 5	128 ± 5
jn5	58 ± 5	004 ± 6



Fallas Planares potenciales

No se observan fallas potenciales.

Potential Wedge Failures (FS<1.3)

Set 1	Set 2	Plunge	Trend	FS _{Seco}
JN2	jn4	53	185	0.7
JN2	FLT NE3	50	181	0.7
jn4	FLT NE3	36	201	5.6

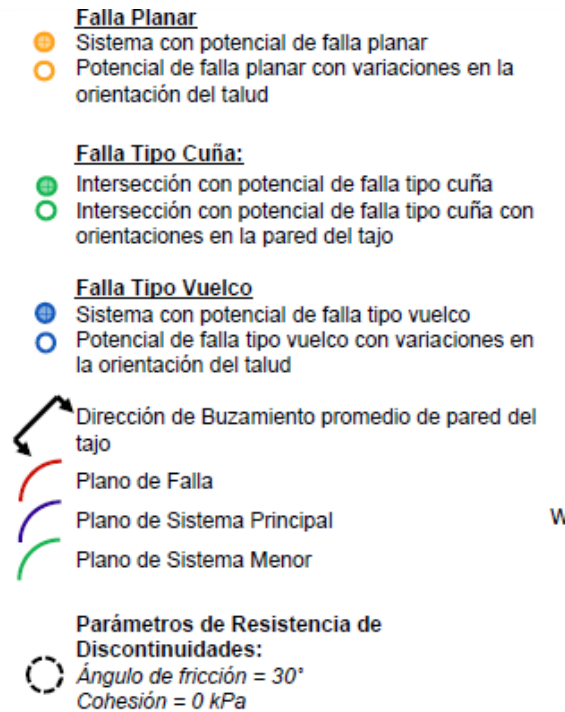
Fallas Tipo Vuelco potenciales

Variaciones de Sistema jn5 58°

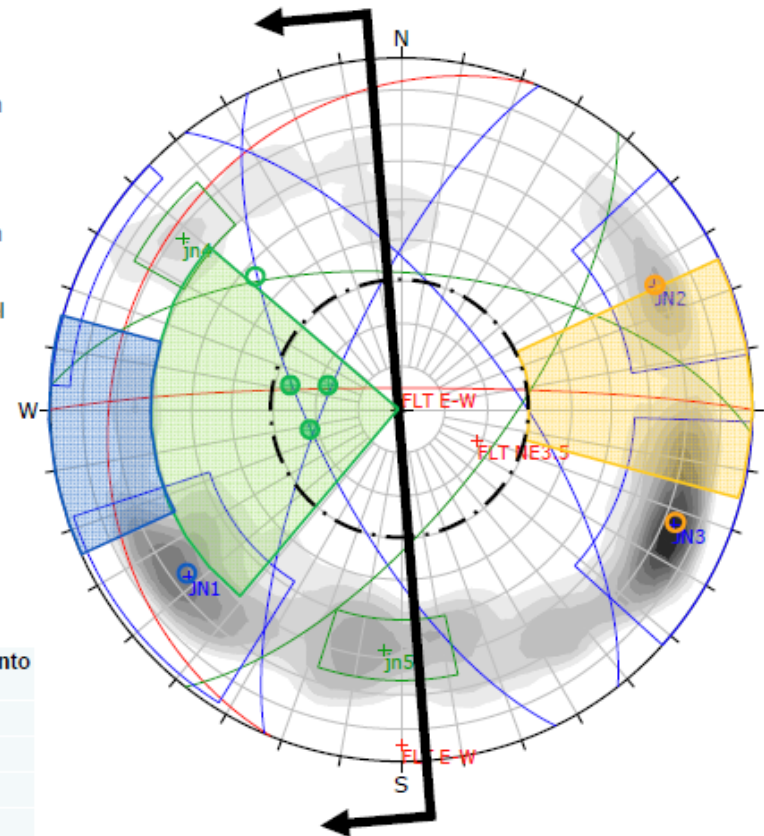
Fallas ID	Buzamiento (°)	Dirección de Buzamiento (°)
FLT L1	74	70
FLT L2	70	70
FLT NE3	58	138
FLT NE3.5	19	292
FLT E-W	85	360

Análisis Cinemático (Información proporcionada por Antapaccay)

Tajo Sur– Dominio Estructural III - Dirección de Buzamiento N265° +/- 10°



Sistema ID	Buzamiento (°)	Dirección de Buzamiento (°)
JN1	66 ± 9	052 ± 11
JN2	69 ± 9	244 ± 11
JN3	73 ± 9	293 ± 29
jn4	68 ± 5	128 ± 5
jn5	58 ± 5	004 ± 6



Fallas Planares potenciales

Sistema JN2 69°
Variaciones de Sistema JN3 73°

Potential Wedge Failures (FS<1.3)

Set 1	Set 2	Plunge	Trend	FS _{seco}
JN2	JN3	69	255	0.2
JN2	jn5	44	312	0.9
JN2	FLT E-W	64	281	0.5
JN3	FLT E-W	73	287	0.2

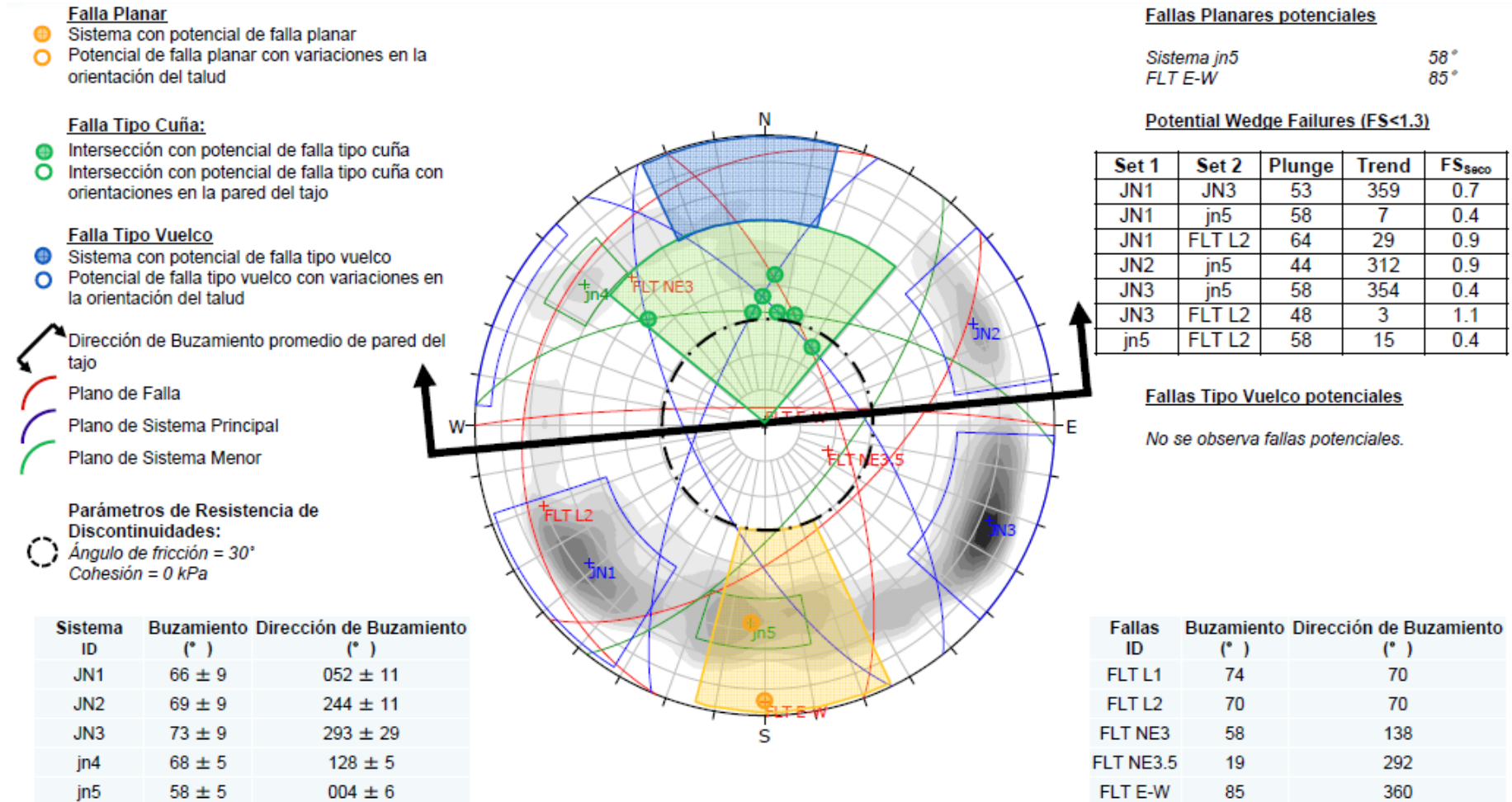
Fallas Tipo Vuelco potenciales

Variaciones de Sistema JN1 66°

Fallas ID	Buzamiento (°)	Dirección de Buzamiento (°)
FLT L1	74	70
FLT L2	70	70
FLT NE3	58	138
FLT NE3.5	19	292
FLT E-W	85	360

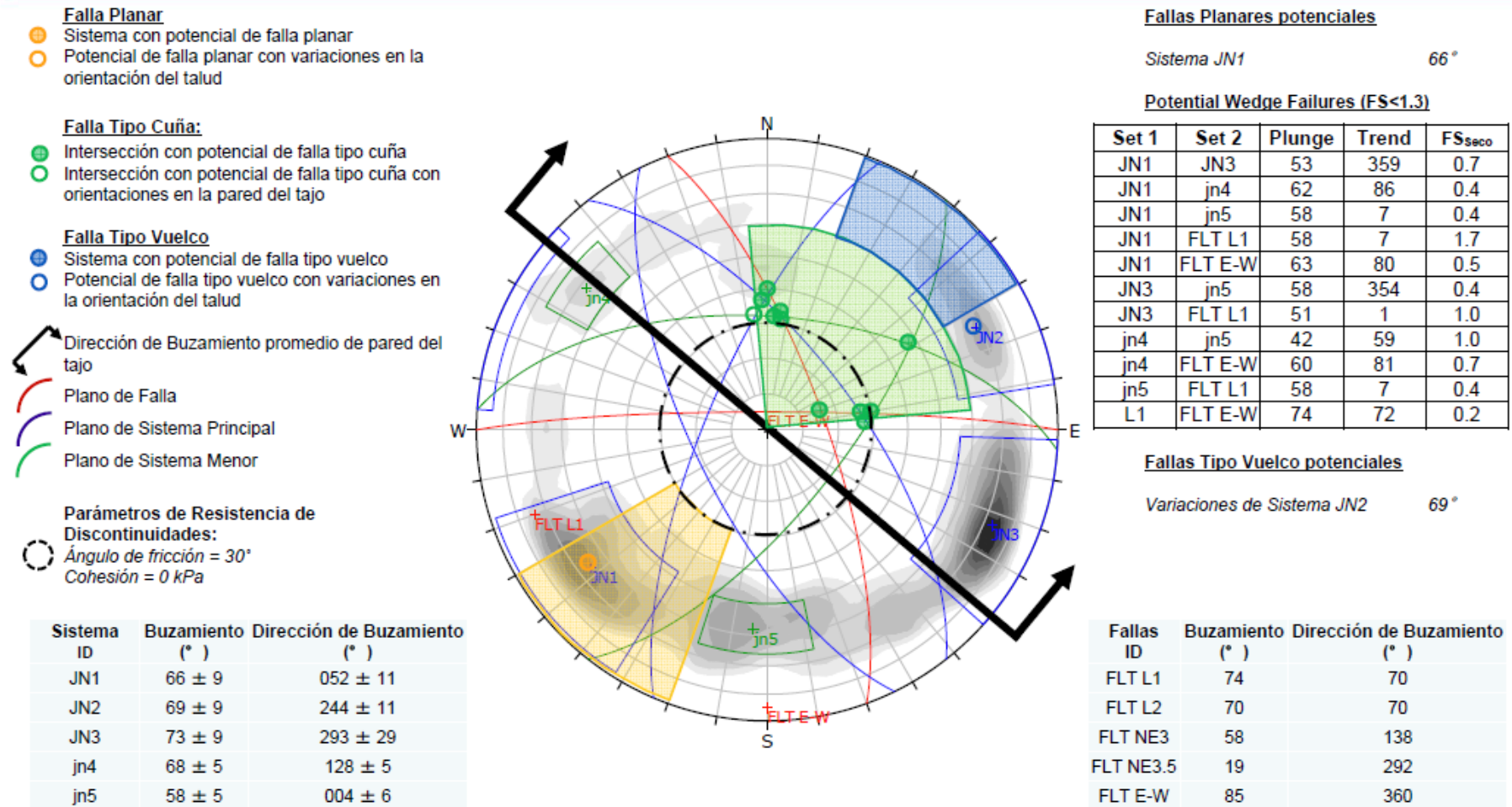
Análisis Cinemático (Información proporcionada por Antapaccay)

Tajo Sur– Dominio Estructural IV - Dirección de Buzamiento N355° +/- 10°

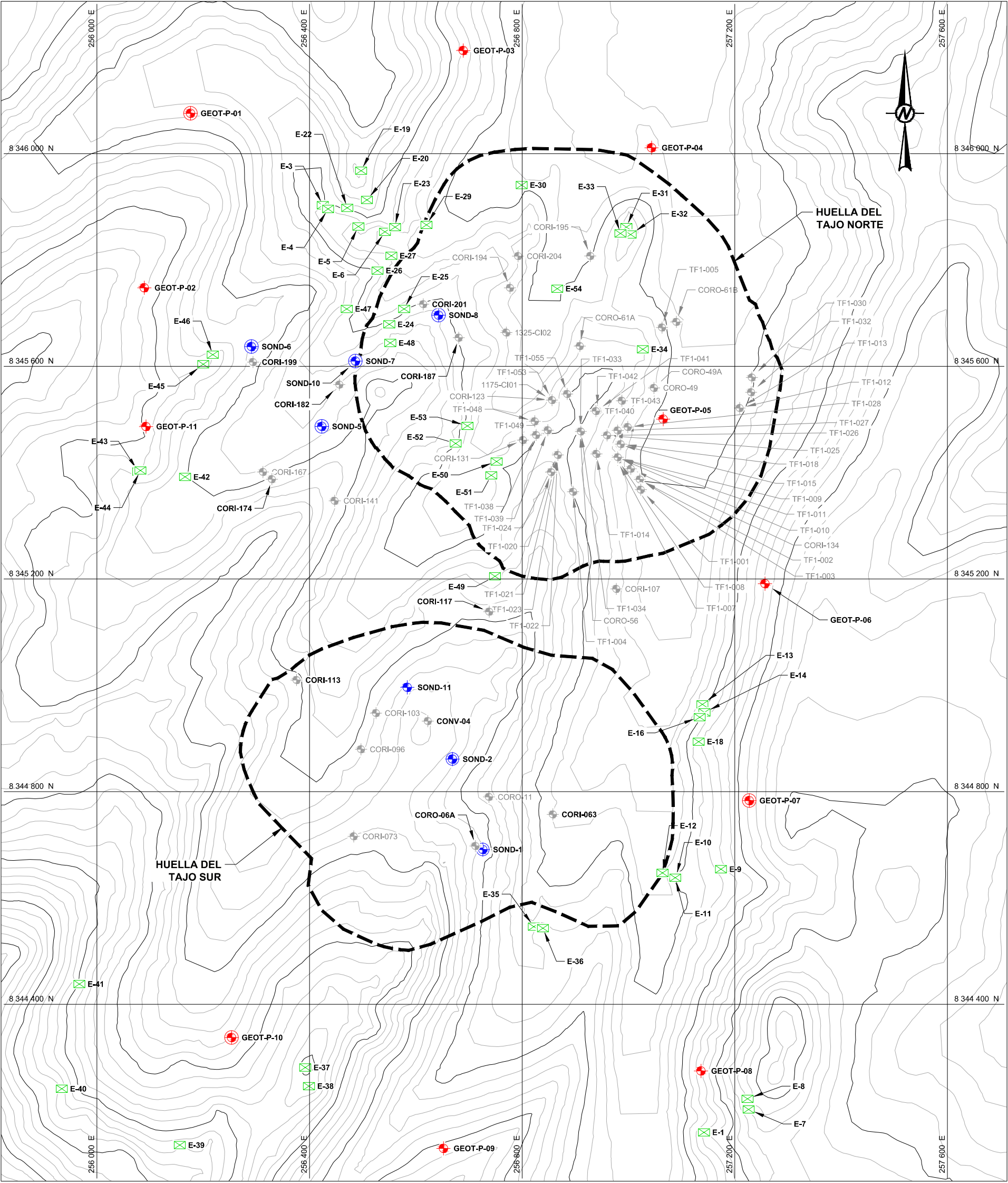


Análisis Cinemático (Información proporcionada por Antapaccay)

Tajo Sur– Dominio Estructural V - Dirección de Buzamiento N040° +/- 10



C. PLANOS



PLANTA
ESCALA 1: 7 500

LEYENDA

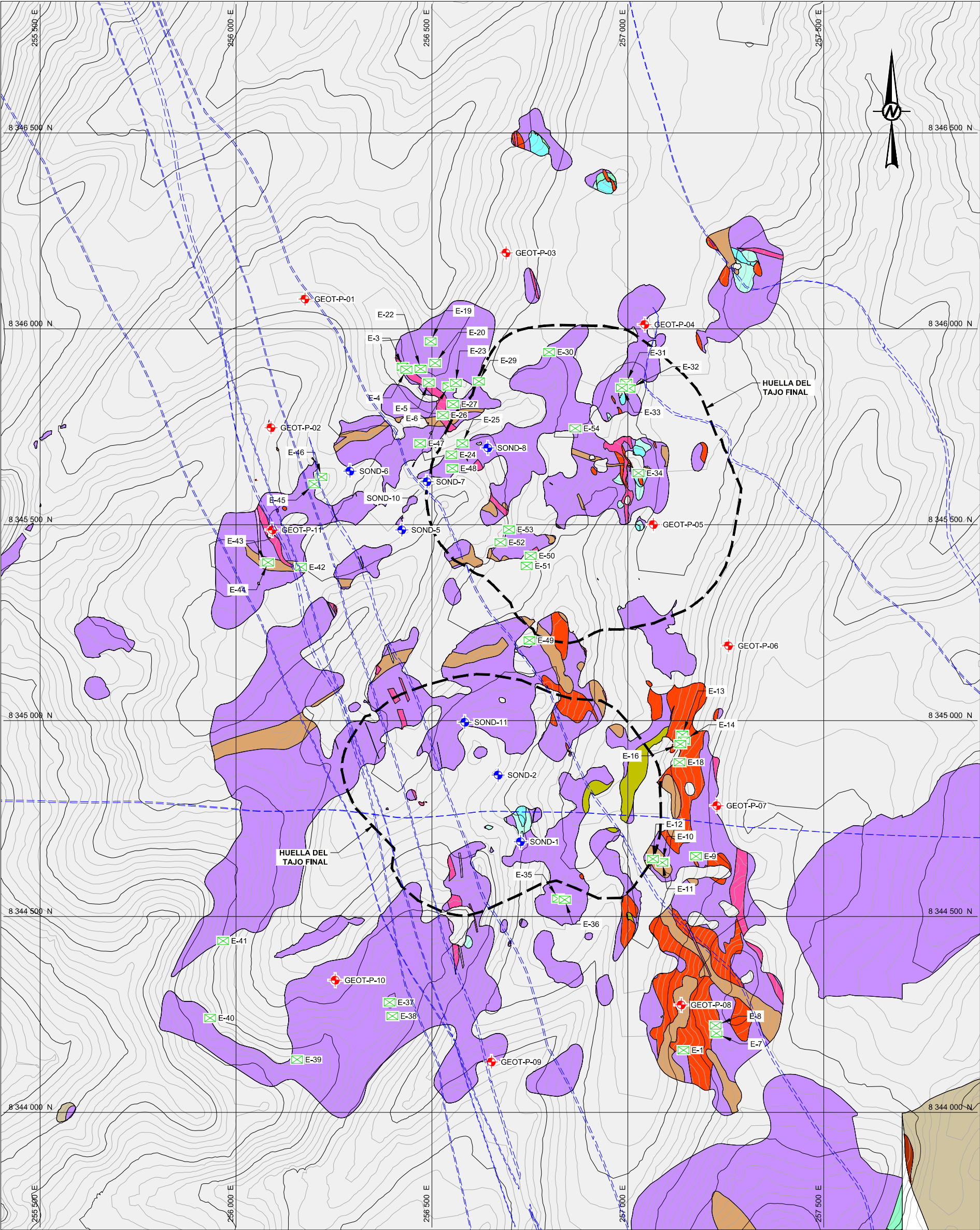
- TOPOGRAFÍA DEL TERRENO EXISTENTE
- HUELLA DEL TAJO FINAL
- PERFORACIONES GEOTÉCNICAS (ANTAPACCAY, 2011), SIN REGISTRO TELEVIEWER
- PERFORACIONES GEOTÉCNICAS (ANTAPACCAY, 2011), CON REGISTRO TELEVIEWER
- PERFORACIONES GEOTÉCNICAS (BISA, 2014), SIN REGISTRO TELEVIEWER
- PERFORACIONES GEOTÉCNICAS (BISA, 2014), CON REGISTRO TELEVIEWER
- PERFORACIONES EXPLORACIONES (BISA, 2014)
- ESTACIÓN GEOMECÁNICA (ANTAPACCAY)



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE ING. GEOLOG, MINERA, METALURG Y GEOGRAF.
E.A.P. INGENIERIA GEOLOGICA

Tesis : ESTUDIO GEOTECNICO PARA TAJO
PROYECTO COROCCHOHUAYCO –CUSCO-PERU
Tesisista : JORGE VALENTINO RODRIGUEZ MALAVER
Asesor: ING. TOMAS GALLARDAY BOCANEGRA

MAPA DE INVESTIGACIONES
GEOTECNICAS



PLANTA
ESCALA 1: 10,000

LEYENDA	
	TOPOGRAFÍA DEL TERRENO EXISTENTE
	PERFORACIONES GEOTÉCNICAS (ANTAPACCAY, 2011)
	PERFORACIONES GEOTÉCNICAS (BISA, 2014)
	ESTACIÓN (ANTAPACCAY)
	HUELLA DEL TAJO FINAL

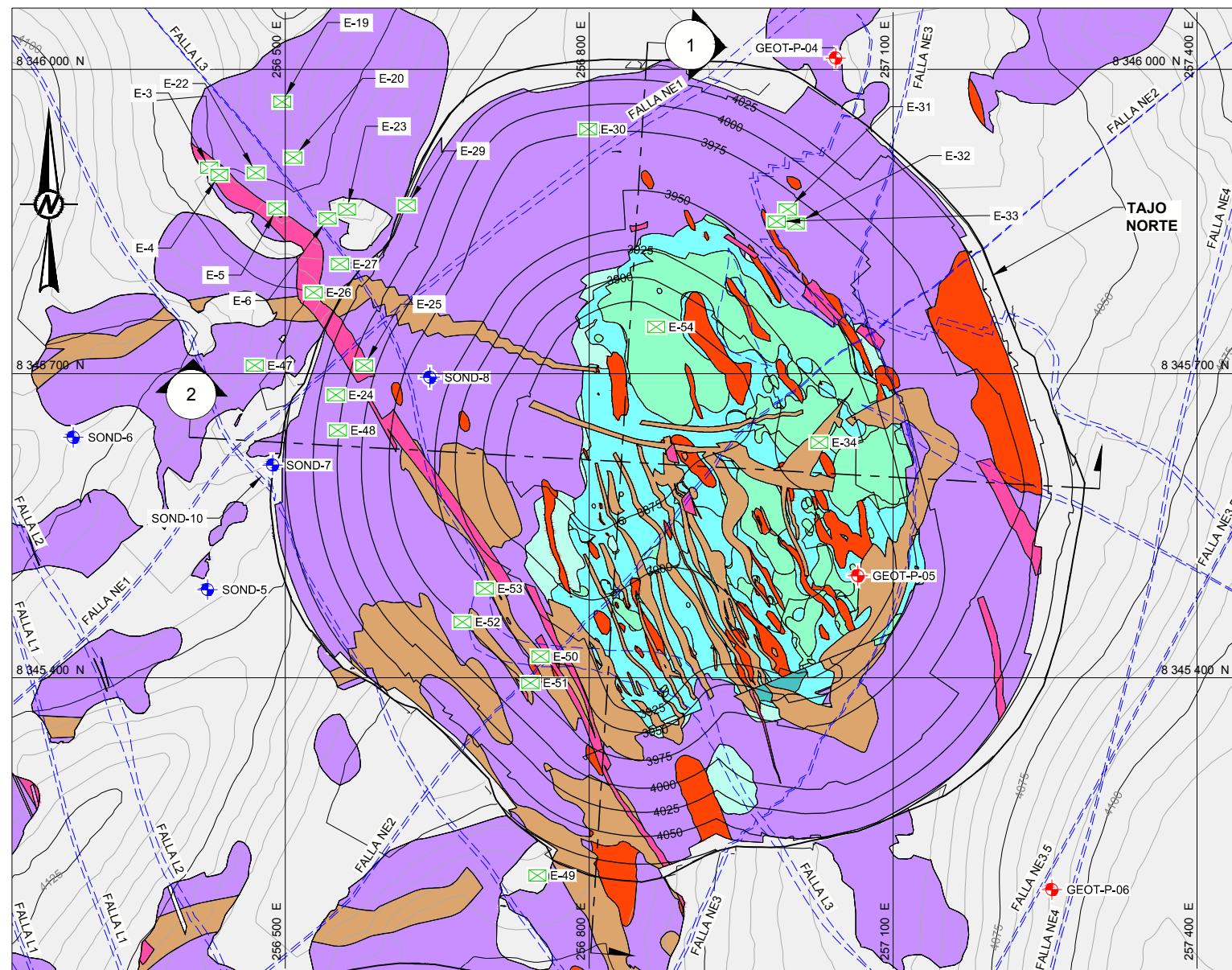
SIMBOLOGÍA	
	MÁRMOL
	HORNFELS
	CUARCITA
	DIORITA
	PÓRFIDO MONZÓNICO HORNBLÉNDICO
	LATITA
	EXOSKARN
	PÓRFIDO MONZÓNICO BIOTÍTICO
	ANDESITA
	ENDOSKARN EN DIORITA
	BRECHA MAGMÁTICA / HIDROTHERMAL
	CUATERNARIO
	FALLA
	CONTACTO DEFINIDO



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE ING. GEOLOG, MINERA, METALURG Y GEOGRAF.
E.A.P. INGENIERIA GEOLOGICA

Tesis : ESTUDIO GEOTECNICO PARA TAJO
.PROYECTO COROCCOHUAYCO –CUSCO-PERU
Tesisista : JORGE VALENTINO RODRIGUEZ MALAVER
Asesor: ING. TOMAS GALLARDAY BOCANEGRA

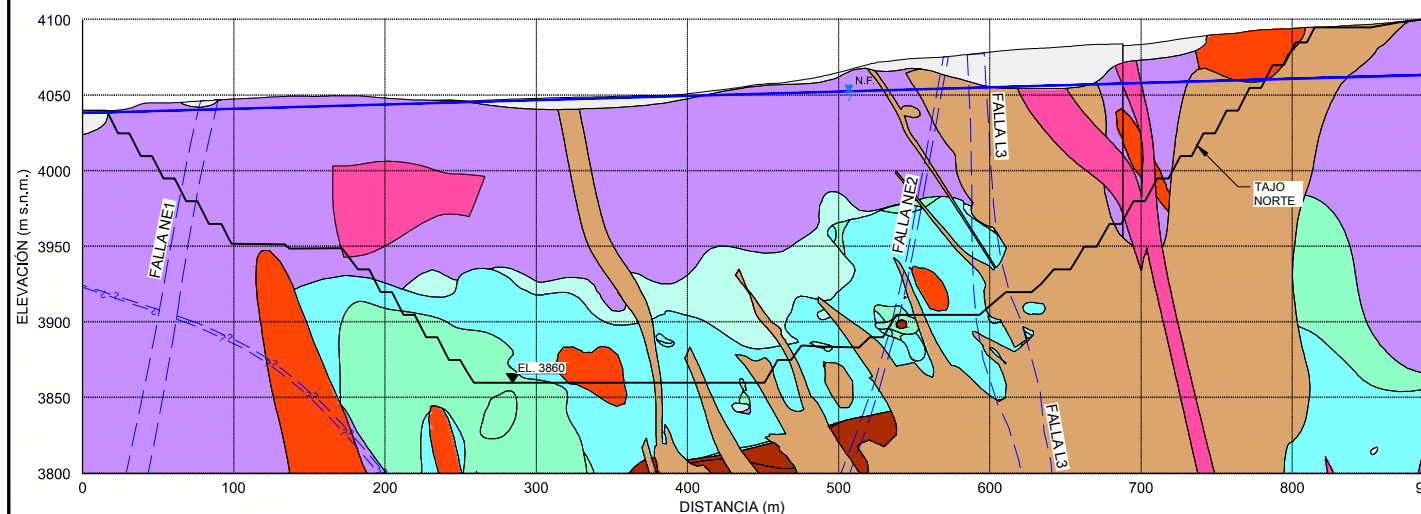
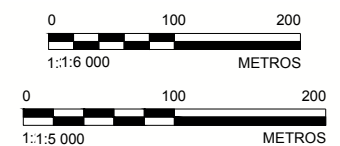
MAPA
GEOLOGICO
SUPERFICIAL



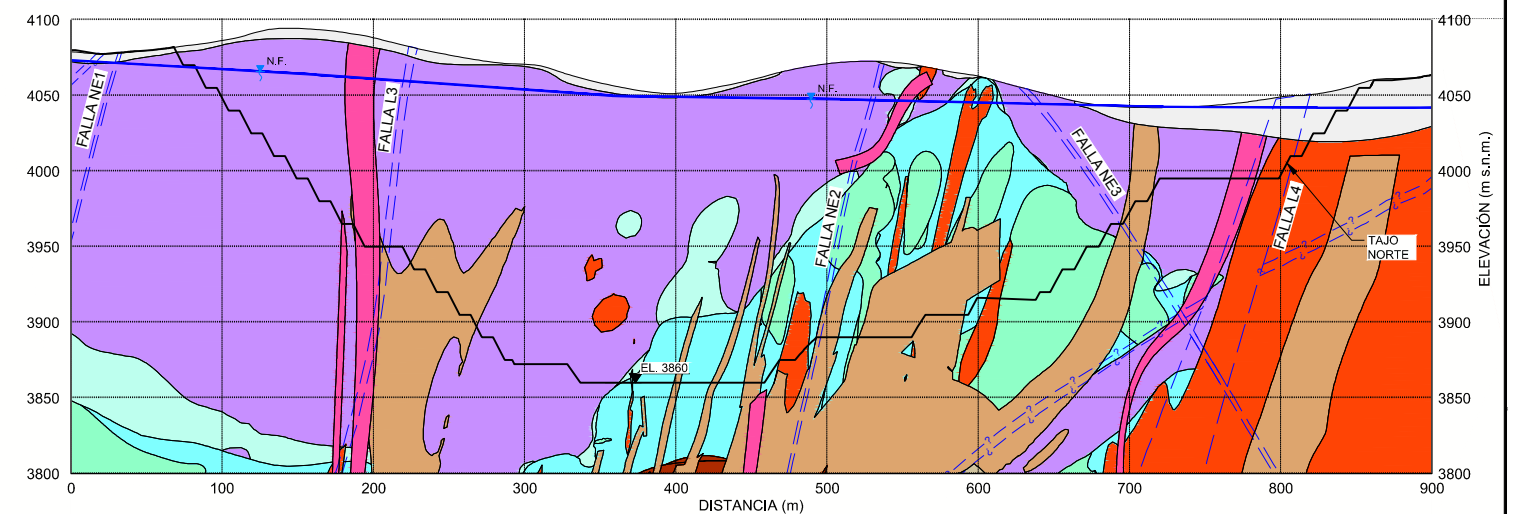
TAJO NORTE - PLANTA
ESCALA 1:6 000

- SIMBOLOGÍA**
- MÁRMOL
 - HORNFELS
 - CUARCITA
 - DIORITA
 - PÓRFIDO MONZONÍTICO HORNBLÉNDICO
 - LATITA
 - EXOSKARN
 - PÓRFIDO MONZONÍTICO BIOTÍTICO
 - ANDESITA
 - ENDOSKARN EN DIORITA
 - BRECHA MAGMÁTICA / HIDROTHERMAL
 - CUATERNARIO
 - FALLA
 - CONTACTO DEFINIDO

- LEYENDA**
- TOPOGRAFÍA DEL TERRENO EXISTENTE
 - TOPOGRAFÍA PROYECTADA
 - GEOT-P-01 PERFORACIONES GEOTÉCNICAS (ANTAPACCAY, 2011)
 - SOND-1 PERFORACIONES GEOTÉCNICAS (BISA, 2014)
 - E-1 ESTACIÓN GEOMECÁNICA (ANTAPACCAY)



ESCALA 1:5 000 **1 SECCIÓN GEOLÓGICA 1 - 1'**



ESCALA 1:5 000 **2 SECCIÓN GEOLÓGICA 2 - 2'**



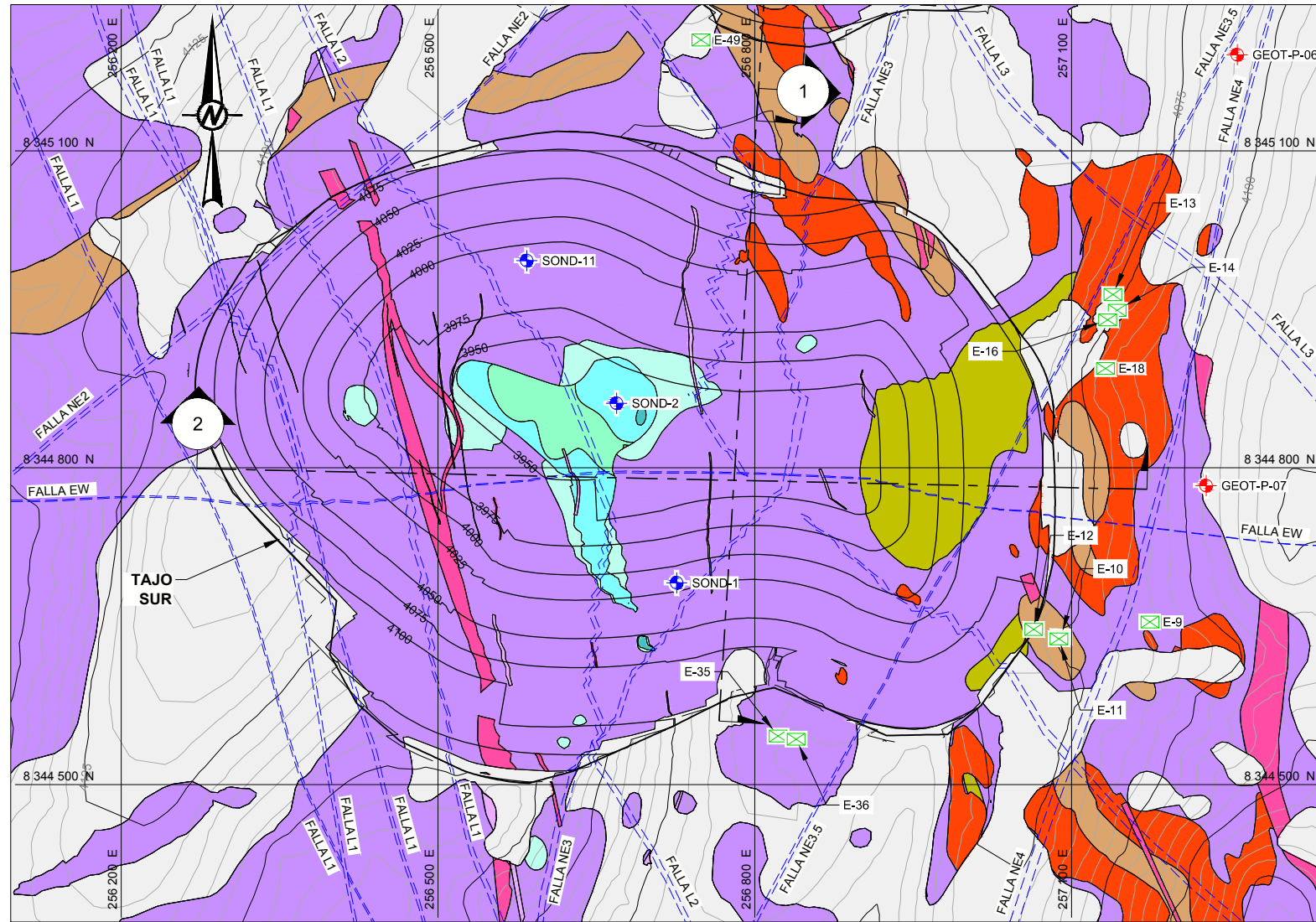
UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE ING. GEOLOG, MINERA, METALURG Y GEOGRAF.
E.A.P. INGENIERIA GEOLOGICA

Tesis : ESTUDIO GEOTECNICO PARA TAJO
PROYECTO COROCOCHUAYCO –CUSCO-PERU

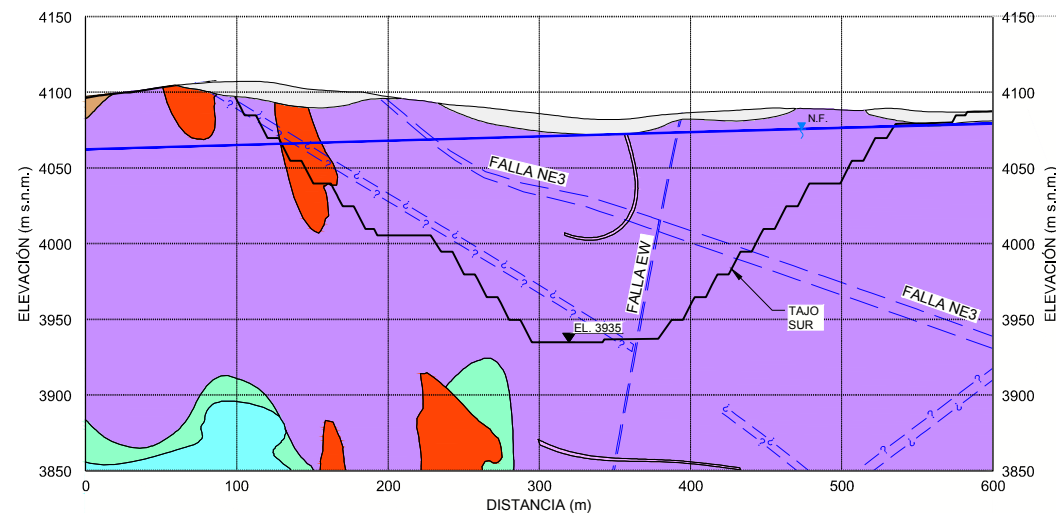
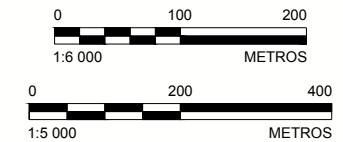
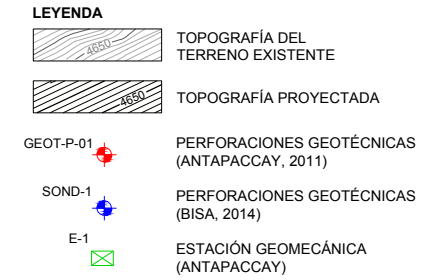
Tesista : JORGE VALENTINO RODRIGUEZ MALAVER

Asesor: ING. TOMAS GALLARDAY BOCANEGRA

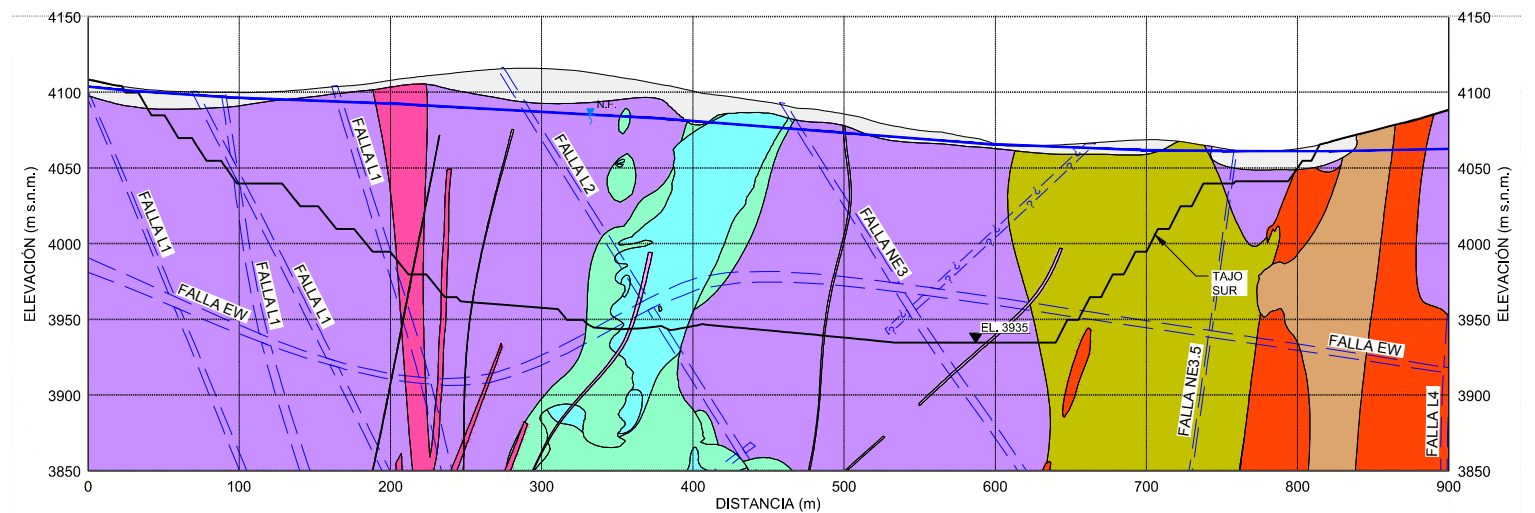
MAPA GEOLOGICO DEL
TAJO NORTE Y
SECCIONES
GEOLOGICAS 1-1' Y 2-2'



TAJO SUR - PLANTA
ESCALA 1:6 000



ESCALA 1:5 000 1 SECCIÓN GEOLÓGICA 1 - 1'



ESCALA 1:5 000 2 SECCIÓN GEOLÓGICA 2 - 2'



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE ING. GEOLOG, MINERA, METALURG Y GEOGRAF.
E.A.P. INGENIERIA GEOLOGICA

Tesis : ESTUDIO GEOTECNICO PARA TAJO
,PROYECTO COROCCOHUAYCO –CUSCO-PERU
Tesista : JORGE VALENTINO RODRIGUEZ MALAVER
Asesor: ING. TOMAS GALLARDAY BOCANEGRA

MAPA GEOLOGICO DEL
TAJO SUR Y SECCIONES
GEOLOGICAS 1-1' Y 2-2'